

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт наук о Земле

Кафедра гидрогеологии

Зорина Надежда Сергеевна

**Оценка устойчивости откосов горных выработок при изменении
гидродинамического режима подземных вод (на примере Кошвинского
месторождения, Кольский полуостров).**

Магистерская диссертация

по направлению 05.04.01 "Геология"

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доцент Коносавский П.К.

« _____ » _____ 2016 г.

Заведующий кафедрой:

к.г.-м.н., доцент Коносавский П.К.

« _____ » _____ 2016 г.

Санкт Петербург

2016

Оглавление.

Введение.....	3
Глава 1. Общие сведения об участке работ.....	5
1.1. Местоположение района.....	5
1.2. Рельеф.....	5
1.3. Гидрографическая сеть.....	7
1.4. Климат.....	7
Глава 2. Геолого - гидрогеологические условия района.....	8
2.1. Стратиграфия.....	8
2.2. Гидрогеологические условия.....	15
2.2.1. Водоносный комплекс четвертичных отложений.....	16
2.2.2. Подземные воды дочетвертичных образований.....	18
Глава 3. Методика расчета устойчивости бортов карьеров и отвалов	20
3.1. Методы расчета устойчивости откосов горных выработок.....	20
3.1.1. Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения.....	21
3.1.2. Метод многоугольника сил.....	23
3.1.3. Метод алгебраического сложения сил по потенциальной поверхности скольжения.....	24
3.2. Схемы расчета устойчивости бортов карьеров в различных геологических условиях.....	27
3.3. Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров.....	33
3.4. Учет сейсмических воздействий при расчете устойчивости откоса.....	36
Глава 4. Расчет устойчивости восточного борта Коашвинского карьера.....	38
4.1. Схематизация инженерно-геологических условий восточного борта Коашвинского карьера.....	38
4.2. Результаты лабораторных определений физико-механических свойств пород.....	43
4.3. Оценка устойчивости восточного борта Коашвинского карьера.....	53
Выводы.....	62
Список литературы.....	63
Приложения.....	64

Введение.

Представленная работа составлена по материалам, полученным в ОАО «МГРЭ».

Устойчивость бортов карьеров и отвалов является одним из основных вопросов при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

С устойчивостью бортов карьеров и отвалов связаны безопасность работ в карьерах, вопросы технологии, предельные углы наклона бортов, предельная глубина карьеров и дренирование месторождений.

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению глубины карьеров, освоению месторождений, расположенных в сложных горно-геологических условиях. В связи с этим возрастает вероятность деформаций откосов. Учитывая многообразие горно-геологических и горнотехнических условий, вопросы исследования устойчивости откосов продолжают оставаться актуальными, а практика открытых разработок ставит перед исследователями новые задачи.

Особый интерес данной работы заключается в том, что вопрос оценки устойчивости откосов горных выработок находится на границе двух геологических наук, инженерной геологии и гидрогеологии. Изменение гидродинамического режима подземных вод ведет за собой изменение напряженно-деформированного состояния горных пород вблизи горных выработок, а также изменение прочности пород в процессе разработки месторождения.

Объектом исследования настоящей работы является Коашвинское месторождение апатит-нефелиновых руд, расположенное на Кольском полуострове.

Крупный оползень произошел 08.08.1999 г. на восточном борту карьера и захватил три уступа в четвертичных породах, поэтому вопрос оценки устойчивости откоса на конец отработки месторождения является актуальным и необходимым для безопасного функционирования месторождения.

Цель данной работы – оценить устойчивость откоса карьера при различной степени его обводненности, и определить уровень подземных вод, при котором разработка месторождения безопасна и экономически выгодна.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Изучить физико-географические условия участка;
- Изучить геологическое и гидрогеологическое строение территории проведения работ;
- Изучить методы расчета устойчивости откосов горных выработок;
- Изучить факторы, влияющие на устойчивость откосов;

- Рассчитать коэффициент устойчивости восточного борта Коашвинского карьера.

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры гидрогеологии Санкт-Петербургского государственного университета, особенно заведующему кафедрой к.г.-м.н., доценту Коносавскому П.К., а также сотрудникам ОАО «МГРЭ».

1. Общие сведения об участке работ

1.1. Местоположение района

Коашвинское месторождение апатит-нефелиновых руд располагается в Кировском районе Мурманской области, в 14 км к востоку от г. Кировска, в южной части Хибинского массива. Административно площадь работ относится к Кировско-Апатитскому району Мурманской области.

Наиболее крупными населенными пунктами являются города Апатиты и Кировск, вокруг которых расположены производственные мощности горнопромышленного комплекса ОАО «Апатит», осуществляющего добычу и переработку апатит-нефелиновых руд Хибинских месторождений (рис.1).

Хибинские месторождение, представляющие собой мощную подковообразную интрузию, входят в состав самых крупных и богатых месторождений мира и являются основной базой фосфорсодержащего сырья в России. К настоящему времени в пределах Хибинского массива разведано 10 месторождений апатит-нефелиновых руд. Из них в эксплуатации находится 6 – Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское и Ньоркпахкское. На базе этих месторождений работает 5 рудников (в том числе рудник «Восточный» на Коашвинском месторождении) и 3 обогатительные фабрики.

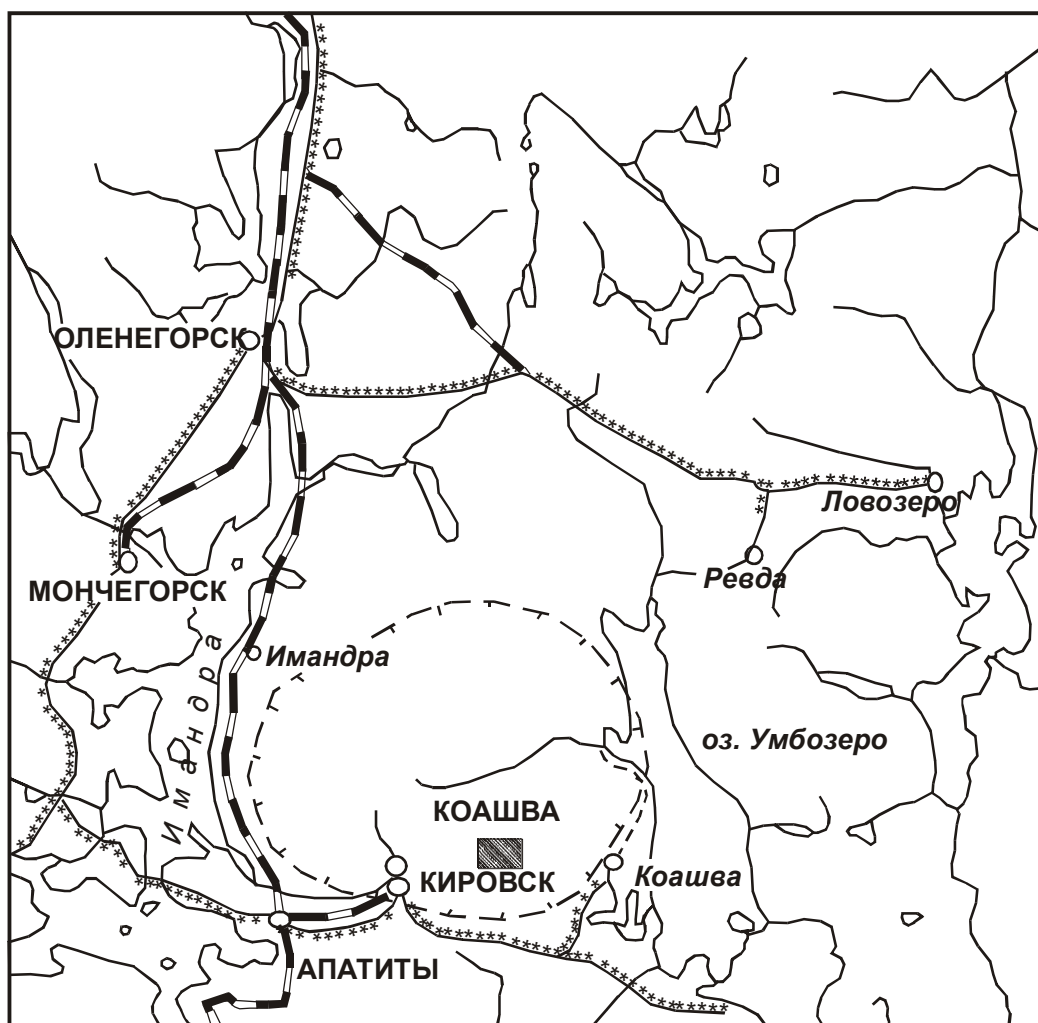
1.2.Рельеф

Хибинский массив в орографическом отношении представляет собой в плане округлую горную возвышенность площадью около 1300 км², ограниченную с запада и востока глубокими озерами Имандра и Умбозеро, а с юга и севера пенеппенизированной равниной центральной части Кольского полуострова.

Зонально-кольцевое строение массива отразилось на формировании горного рельефа, что подтверждается полным совпадением контуров возвышенности с геологическими контактами массива и дугообразным расположением горных цепей.

По своей структуре, компонентам (геологическое строение, рельеф, растительность, гидросеть) район относится к Хибинскому сложному ландшафту средних гор, межгорных долин и предгорий.

Определяющей особенностью горного рельефа Хибин является платообразная поверхность вершин, достигающих отн. 1100-1200 м над уровнем моря. Высшая точка Хибин – гора Ферсмана – 1208 м. Крутизна склонов и вершин достигает 40-90⁰. Межгорные долины, радиально расходящиеся от центра Хибин к периферии,



Масштаб 1:750000

Условные обозначения



1. Границы Хибинского массива. 2. Месторождение Коашва. 3. Автомобильные дороги. 4. Железнодорожные пути. 5. Гидросеть

Рис. 1. Обзорная схема района работ. (Схема скопирована с карты Мурманской области).

приурочены к зонам тектонических нарушений. Абсолютные отметки долин составляют 300-600 м. Равнинная часть территории имеет абсолютные отметки от 150 до 300 м. Низины и пологие склоны зачастую заболочены. Поверхность равнины характеризуется чередованием круглых и овальных холмов с пологими склонами и уплощенными вершинами с плоскими межхолмными понижениями изометричных или слабо вытянутых очертаний, частично заболоченными или занятыми мелкими озерами.

Базисом эрозии для западной части района работ служит оз.Имандра (с абс. отм. уровня 127 м и глубиной до 67 м), для восточной части – оз.Умбозеро (с абс.отм. уровня 157 м и глубиной до 110 м).

1.3. Гидрографическая сеть

Благодаря сильному расчленению рельефа гидрография района работ представлена довольно густой сетью рек, ручьев, рядом крупных и мелких озер.

Базисом эрозии для западной части района работ является оз.Имандра (реки Малая и Большая Белая), для восточной части – оз.Умбозеро (реки Умболка, Вуоннемйок).

Гидрографическая сеть района работ представлена озерами Большой и Малый Вудъявр и реками Саамская, Юкспоррийок, Вуоннемйок, Айкуайвенйок, Черная, Жемчужная, Большая и Малая Белая.

Общая водосборная площадь р.Вуоннемийок составляет около 100 км², из них выше Коашвинского месторождения – 40 км². Река Вуоннемийок берет начало от родников Юкспорлакского ущелья и впадает в оз.Китчявр.

Питание рек и озер района в течение года смешанное (снеговое, дождевое и грунтовое). Причем, в отдельные сезоны наблюдается различное сочетание видов питания. Наибольших величин поверхностный сток достигает в весеннее половодье при интенсивном снеготаянии и одновременных ливневых осадках. Зимой же реки переходят только на грунтовое питание.

1.4.Климат

Климатические условия в значительной степени связаны с рельефом и, в частности, с высотой местности над уровнем моря. С увеличением высоты наблюдается падение температуры воздуха, увеличение осадков, силы ветра, а также периода схода снежного покрова.

Одним из основных элементов климата, является температура воздуха. Среднегодовая температура воздуха в долинах изменяется от + 0.4⁰ до - 2.6⁰.

Минимальная среднемесячная температура наблюдается в феврале и изменяется от - 13.0⁰ (метеостанция Восточная) до - 16.8⁰ (г.Апатиты). Максимальные среднемесячные температуры наблюдаются в июле - +16.0⁰ (г.Кировск).

По количеству выпадающих осадков Кольский полуостров относится к умеренной зоне (400-600 мм в год), однако в Хибинах, осадков выпадает примерно в 1.5-2 раза больше, чем в остальных районах. Наибольшее количество осадков приходится на вторую половину года (май-октябрь), наименьшее – на февраль-март. В теплый период выпадает до 45% и более от годовой суммы осадков, что благоприятно сказывается на питании грунтовых вод. В зимнее время осадков выпадает около 55% из годовой суммы осадков.

Неравномерность в распределении атмосферных осадков как в многолетнем периоде, так и в течении года, отражается на колебании в режиме поверхностных и подземных вод.

Испарение с поверхности почвы характеризуется ничтожной величиной.

Начало промерзания почво-грунтов в районе работ приходится на середину ноября, а полное оттаивание наступает в июне - июле. Максимальная глубина промерзания за многолетний период - 180 см.

2. Геолого - гидрогеологические условия района

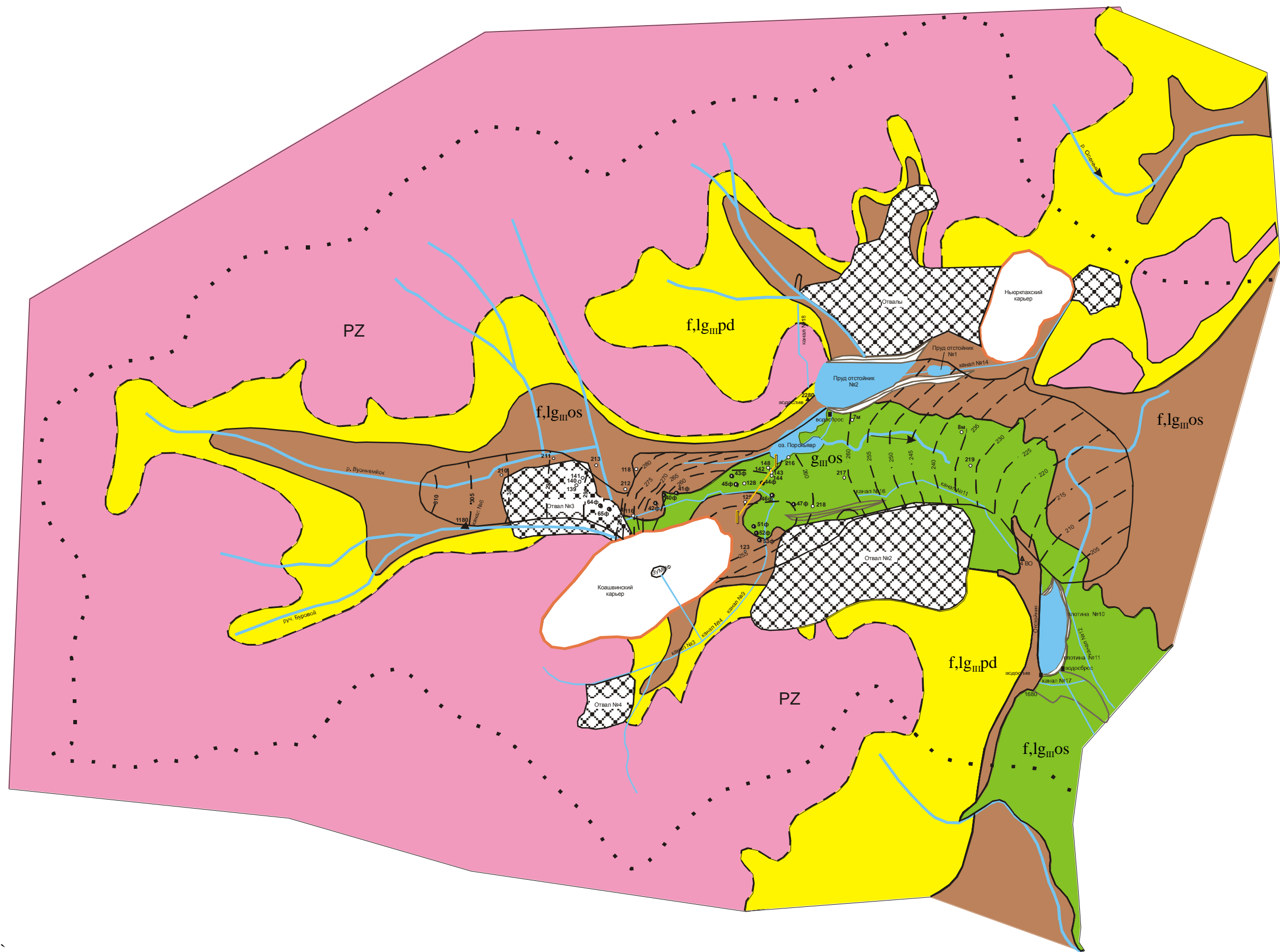
2.1. Стратиграфия

Хибинский массив щелочных пород, в пределах которого расположено Коашвинское месторождение, представляет собой сложную многофазную интрузию центрального типа, приуроченную к зоне сочленения протерозойского имандра-варзугского комплекса осадочно-вулканогенных пород с гнейсами архея (рис.2, 3). Возраст Хибинского массива оценивается примерно в 400 млн. лет.

В плане массив имеет овальную форму. Протяженность его длинной оси – 44 км, короткой – 35 км. Площадь 1327 км².

Коренные породы

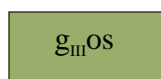
Раннепротерозойский структурно-формационный комплекс (PR₁) простирается вдоль южных предгорий Хибин. Вулканогенно-осадочные породы Имандра-Варзугской серии представлены часто перемежающимися в разрезе интенсивно тектонизированными метаосадками и матавулканитами основного состава. Нижние горизонты их представлены метаосадками терригенными (кварциты, кварцито-песчаники), терригенно-карбонатными (известняки, доломиты, филлитовидные



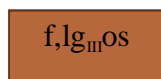
Масштаб 1:50 000

Рис 2. Геологическая карта района работ («Оценка и прогноз устойчивости откосов Коашвинского карьера с применением математического моделирования», 2001.)

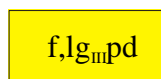
Условные обозначения



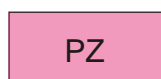
Осташковские ледниковые отложения



Осташковские водно-ледниковые отложения



Подпорожские водно-ледниковые отложения



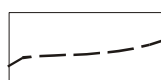
Палеозой



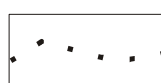
Отвалы



Карьеры



Контур распространения напорных вод водно-ледниковых отложений



Граница водосборной площади

○ 144

Скважина и ее номер



Реки и каналы



Линия разреза I-I

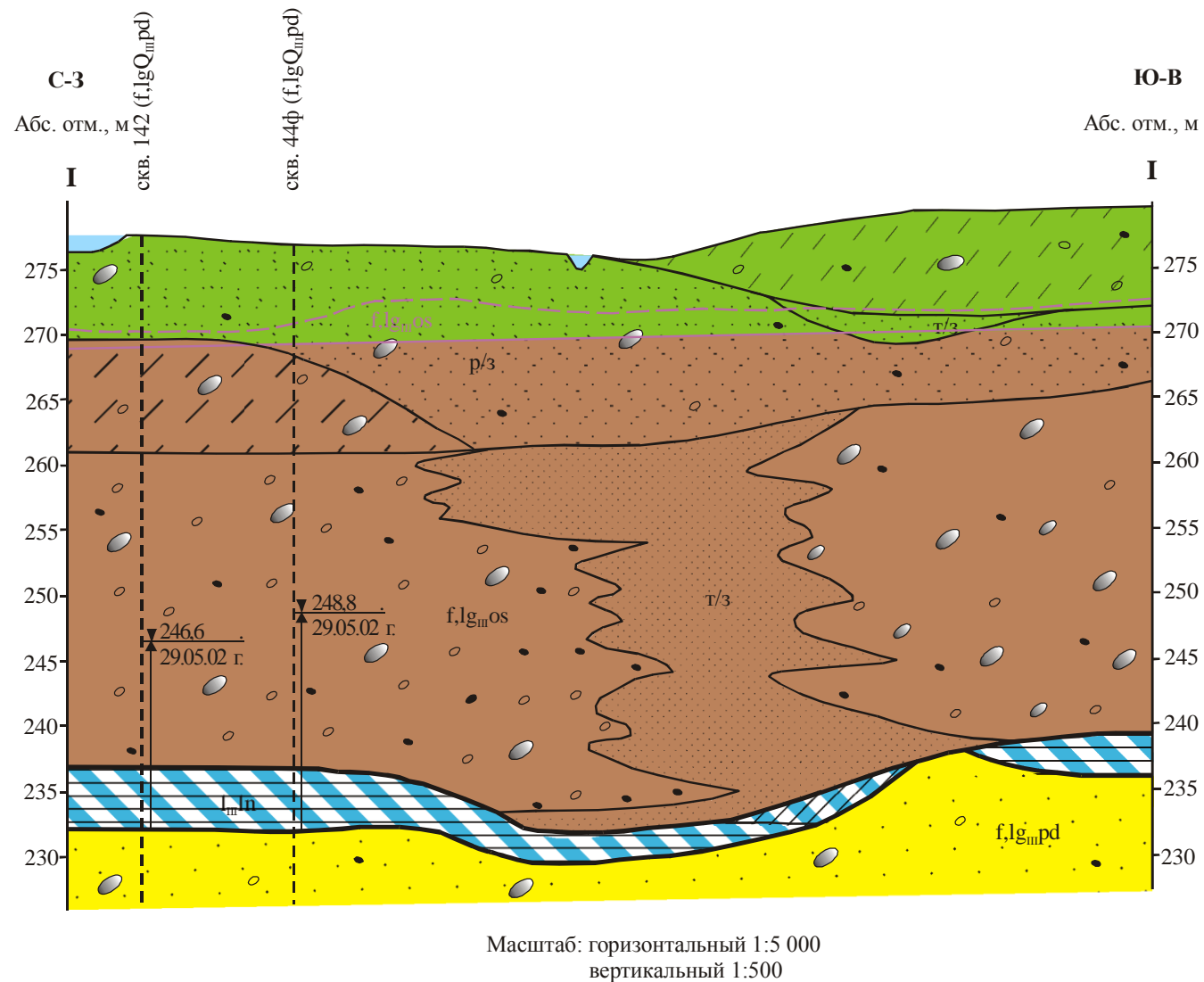
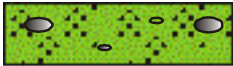





Рис. 3. Геологический разрез по линии I-I

(«Оценка и прогноз устойчивости откосов Коашвинского карьера с применением математического моделирования», 2001.)

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Обозначение на разрезе		Литологическая характеристика пород
g_{mOS}		Осташковский ледниковый горизонт (пески р/з с включением валунов, дресвы, щебня, гальки и гравия)
f, lg_{mOS}		Осташковский водно-ледниковый горизонт (пески р/з, супеси, гравийно-галечниковые, дресвяно-щебнистые и валунно-гравийно галечниковые отложения)
l_{mIn}		Ленинградский озерный горизонт (суглинки, глины без включений)
f, lg_{mpd}		Подпорожский водно-ледниковый горизонт (пески р/з с гравием, галькой и валунами, гравийно-галечниковые отложения)

f, lg_{mOS}

Линия уровня подземных вод грунтового (осташковского водно-ледникового) горизонта по июль 2002 г. по скважинам

Граница зоны полного водонасыщения по ВЭЗ, совпадающая в песчаных отложениях с уровнем грунтовых вод

~~~~~

Генетическая граница

~~~~~

Литологическая граница

углеродистые сланцы) и смешанными вулканогенно-терригенными метатUFFами, туффитами. Верхние подразделения всех свит, представлены метавулканитами, преимущественно основного состава, реже субщелочного (Умбинская свита). Метаморфизм отвечает, в основном, зеленосланцевой фации.

Архейская группа (AR) развита в юго-восточной и южной частях исследуемого района. Представлена ультраморфогенными и интрузивными образованиями (γAR_1 ; $\sigma_1 AR_1$): биотитовыми плагиогранитами, плагиогранито-гнейсами, амфиболитовыми биотитовыми диоритами и диорит - гнейсами.

Протерозойская группа (PR). Имандра-Варзугская синклинозная зона.

Породы представлены метавулканитами основного и кислого состава, метабазами, карбонатными породами, кварцитами, метатрахизадами, метатUFFами и сланцами по ним. В структурном плане породы имандра-варзуги слагают синклинозную складку, ось которой имеет субширотное направление. Северное крыло синклинали срезано Хибинской интрузией, в зоне сочленения их наблюдается распад структуры первого порядка на серию мелких сжатых синклиналей.

Палеозой (PZ). Для этой формации характерно развитие интрузий щелочного и ультраосновного состава. Хибинский массив обладает автономной тектоникой, не сопряженной со структурой вмещающих пород и характеризуется кольцевым расположением, слагающих его интрузий. Проведенные в последнее время геофизические исследования и геологическое доизучение, подтвердили блоковое строение массива и выявили серию разрывов различного происхождения, имеющих, в основном, субширотное и радиальное расположение, что находит выражение в современной гидросети. Месторождения апатит-нефелиновых руд приурочены к конической интрузии ийолит-уртитов и, при единстве вещественного состава, текстурных типов, состава рудообразующих минералов, - различаются по особенностям локализации и внутреннего строения оруденения.

Нерасчлененные палеоген-неогеновые отложения (P-N). Эти отложения условно отнесены к палеоген-неогену и представляют собой древние дочетвертичные коры выветривания. Коры выветривания литологически представлены конгломератами (сцементированные песчано-глинистой ожелезненной массой обломки разновидностей нефелиновых сиенитов), песчаниками и грубообломочной щебнисто-валунной массой, соответствующей по составу породам коренного ложа с супесью и суглинком незначительной мощности: развиты в межгорных долинах и предгорьях фрагментарно залегающая непосредственно на кристаллических породах.

Четвертичные отложения в пределах района развиты весьма широко в виде прерывистого покрова, мощность которого зависит от положения в рельефе и изменяется от 2 до 60 м. Самые значительные мощности рыхлых образований приурочены к древним межгорным долинам рек Юкспорйок, Саамская, Б.Белая, Вуоннемйок.

Четвертичные отложения имеют верхнеплейстоценновый и современный возраст и представлены континентальными образованиями, среди которых преобладают ледниковые и водно-ледниковые отложения последнего покровного оледенения.

Верхнее звено плейстоцена представляют отложения валдайского подгоризонта, который объединяет подпорожский и осташковский горизонты.

Подпорожские водно-ледниковые отложения (f,lgmpd) развиты на ограниченной площади узкой полосой вдоль современных русел, заполняя межгорные долины рек Юкспорйок, Саамская, Вуоннемйок, Большой и Малой Белой. Залегают на кристаллических породах под осташковскими водно-ледниковыми отложениями. На территории проектируемых работ водно-ледниковые подпорожские отложения вскрыты многими разведочными скважинами и представлены валунно-гравийно-галечными отложениями, песками различной зернистости. Мощность отложений изменяется от 5 - 10 м до 25 - 65 м.

Ленинградские озерные отложения (l_{III}ln) развиты в межгорных долинах рек Юкспорйок, Саамская, Вуоннемйок, Малая Белая и Большая Белая, приозерной низменности оз. Б.Вудъявр. Залегают на подпорожских водно-ледниковых осадках, под осташковскими водно-ледниковыми отложениями. Литологически представлены слоистыми глинами и суглинками голубовато-серыми тонкослоистыми, супесями с обилием гравия и гальки в песчаных фракциях. Мощность этих отложений в долинах рек Саамская и Юкспорйок составляет от 3 до 20 м, в долинах рек М.Белой и Вуоннемйок – до 4 м.

Осташковские водно-ледниковые отложения (f,lgmos) имеют широкое распространение, развиты в северных, западных, южных предгорьях Хибин. Слагают озовые гряды, камовые холмы, выполняют ложбины стока только ледниковых вод. Характеризуются разнообразием гранулометрического состава – от серых тонко-мелкозернистых песков до гравийно - галечникового и галечниково - валунного материала. Для них характерна быстрая смена гранулометрического состава, косая либо горизонтальная слоистость потоков, хорошая окатанность крупнообломочного материала. Залегают они первыми от поверхности или под осташковскими

ледниковыми или современными болотными отложениями. Мощность этих отложений определяется высотой структур в рельефе и составляет 5 - 35 м.

Осташковские ледниковые отложения (gшos) имеют значительное распространение, залегая с поверхности или под современными болотными отложениями на дочетвертичных образованиях, а в депрессиях – на подпорожских или ленинградских озерных отложениях. Литологически представлены несортированной смесью песков, гравия и глинистых частиц с включением (до 15-30%, реже 60%) валунов, щебня и гальки. Залегают осташковские ледниковые отложения на осташковских водно-ледниковых осадках или кристаллических породах. Средняя мощность этих отложений составляет 11-15 м.

2.2. Гидрогеологические условия

Район работ расположен в пределах Балтийского гидрогеологического бассейна, который характеризуется широким развитием поровых грунтовых вод в четвертичных отложениях, трещинных грунтовых вод в зоне выветривания кристаллических пород и трещинно-жильных напорных вод тектонических зон.

Гидрогеологические условия района имеют ряд особенностей:

- обособленное, резко возвышающееся положение Хибинского массива;
- сильно расчлененный рельеф и глубоко врезанная гидрографическая сеть;
- близкое взаиморасположение областей питания и разгрузки подземных вод;
- влажный климат с повышенным количеством атмосферных осадков, малым испарением и благоприятными условиями для конденсации влаги;
- хорошая обнаженность коренных пород и развитая трещинная тектоника.

В соответствии с характером водовмещающих пород, в районе производства работ выделяются два типа подземных вод:

Поровые и порово-пластовые воды, распространенные в четвертичных отложениях

Трещинные и трещинно-жильные воды, повсеместно развитые в коренных породах.

Режим всех типов вод коренных пород и четвертичных отложений зависит от количества атмосферных осадков. Вследствие этого у водоносных комплексов совпадают области питания и распространения.

Залегание уровня подземных вод в пределах района работ различно. В верховьях долин рек и ручьев подземные воды четвертичных отложений и коренных пород имеют общее зеркало и залегают на глубине 5-10 м от поверхности. По мере удаления от области питания в средней части долин рек, в связи с увеличением мощностей

четвертичных отложений и появлением в разрезе водоупорных слоев, воды четвертичных отложений и коренных пород приобретают напор, безнапорными остаются воды грунтового горизонта. Разница в уровнях для грунтового и напорного водоносных горизонтов составляет 10-15 м

2.2.1. Водоносный комплекс четвертичных отложений

Верхнечетвертичный современный водоносный горизонт (Q_{IV}), приурочен к торфяно – болотным отложениям. В районе работ развит в понижениях рельефа в пределах приозерных низменностей. Подстилаются торфяно-болотные отложения осташковскими ледниковыми, либо подпорожскими водно-ледниковыми осадками. Гидравлически связан с водами подстилающих водно-ледниковых или ледниковых отложений. Питание водоносного горизонта происходит за счет атмосферных осадков, частично за счет подземных вод подстилающих горизонтов. Коэффициенты фильтрации (K_f) торфа изменяются от 0.5 м/сут до 3.0 м/сут, минерализация вод 0.01 – 0.1 г/л.

Слабоводоносный, локально-водоносный осташковский ледниковый горизонт ($gQ_{III os}$) широко развит на всей площади района работ. Залегает первым от поверхности или под верхнечетвертично-современным горизонтом в межгорных долинах, на осташковском водно-ледниковом горизонте, либо на породах кристаллического фундамента. Мощность горизонта изменяется от 3.05 м (Коашвинское месторождение) до 11.5 – 13.0 м в долине озера Б.Вудъявр. Водовмещающие породы представлены плохо отсортированными песками, супесями с гравием, галькой и валунами до 50% в верховьях долин, преимущественно валунно-гравийно-галечниковыми отложениями с песчаным пылеватым или песчаным заполнителем. Фильтрационные свойства горизонта довольно низкие, удельные дебиты скважин составляют 0.044-1.5 л/сек/м, коэффициенты фильтрации 0.01-1.9 м/сут. Водоносный горизонт гидравлически связан с водами подстилающих горизонтов и перекрывающим горизонтом. Основным источником питания водоносного горизонта являются атмосферные осадки и подземные воды перекрывающего горизонта. Уровень подземных вод колеблется в пределах 0.5-10 м.

По химическому составу воды гидрокарбонатные, натриевые или хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, с минерализацией до 0.05 г/л.

Водоносный осташковский водно-ледниковый горизонт ($f, lg Q_{IIIos}$) приурочен к осташковским озерно-ледниковым и флювиогляциальным отложениям, распространен повсеместно. Залегает первым от поверхности, либо под слабоводоносным

осташковским ледниковым горизонтом. Водовмещающие породы представлены галечно-щебенистыми, валунно-галечными отложениями с песчаным заполнителем от мелкозернистых до крупнозернистых песков с прослоями слоистых песков разной зернистости, реже супеси. Мощность горизонта – $7 \div 15$ м, в долине р. Вуоннемйок достигает 35-40 м.

Фильтрационные свойства изменяются в широком диапазоне. $K_f = 0.27$ м/сут \div 60.5 м/сут. В зависимости от условий дренирования и условий питания, глубина залегания уровня устанавливается на глубине 0 – 10 м ниже поверхности земли, на отдельных участках выше поверхности. На Коашвинском месторождении и в Саамской долине, за счет дренирующего действия карьеров, отмечается снижение уровня подземных вод горизонта вблизи карьеров до глубины 25-35 м

Водоносный горизонт гидравлически связан с поверхностными водотоками и подстилающими горизонтами.

По химическому составу воды гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные с минерализацией до 0.06 мг/л.

Водоносный горизонт подвержен техногенному воздействию деятельности комбината ОАО «Апатит».

Водоносный горизонт играет важную роль в формировании запасов подземных вод, эксплуатируется Коашвинским водозабором для водоснабжения п. Коашва и промплощадки Восточного рудника.

Водоупорный, локально-слабоводоносный ленинградский озерный горизонт (lQ_{IIIln}) залегает выдержанным слоем в средних частях долин рек Юкспоррйок, Саамская, Малая Белая и Вуоннемйок, плащеобразно перекрывая подпорожский водно-ледниковый горизонт. Отложения представлены плотными слоистыми суглинками, супесями и глинами. Мощность горизонта увеличивается от бортов долин к центру и составляет 4-20 м.

Водоносный подпорожский водно-ледниковый горизонт (f, lgQ_{IIIPd}) распространен в пределах межгорных долин рек Юкспоррйок, Саамская, Вуоннемйок, Большая и Малая Белая, приозерной низменности оз. Б.Вудъявр. Водовмещающие породы характеризуются пестрым литологическим составом: чередованием крупнозернистых гравелистых песков, песчано-гравийных, гравийно-галечниковых отложений с мелкозернистыми песками, супесями, реже суглинками, валунно-гравийно-галечными отложениями с песчаным и супесчаным заполнителем. Перекрыт сверху слабоводоносным осташковским или ленинградским горизонтами, снизу слабоводоносным комплексом кристаллических пород. Водоносный горизонт

напорный на всей площади залегания за счет наличия в разрезе перекрывающих отложений супесчаных и суглинистых прослоев. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет подземных вод подстилающего комплекса кристаллических пород, частично-перекрывающих горизонтов и атмосферных осадков.

Фильтрационные свойства водоносного горизонта изменяются в широких пределах, достигая максимальных значений в центральной части долин, где удельные дебиты скважин составляют 4.76-15.4 л/сек/м, уменьшаясь в краевой части до удельных дебитов 0.07-0.8 л/сек/м.

По химическому составу воды гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 0.03-0.09 мг/л.

Подземные воды подпорожского водно-ледникового горизонта разведаны в межгорной долине р. Малая Белая. Эксплуатируются в бассейне оз. Большой Вудъявр водозаборами «Центральный» со среднегодовой производительностью 25 тыс. м³/сут, «Ключевой» с производительностью 4.0 тыс. м³/сут, являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Кировска и предприятия ОАО «Апатит».

2.2.2. Подземные воды дочетвертичных образований.

Водоупорный, локально слабоводоносный палеоген - неогеновый комплекс (P-N) имеет ограниченное распространение, занимает переуглубленные участки и впадины в днищах древних долин рек. Водовмещающие породы - конгломераты, слабосцементированные песчаниками, плотными суглинками со щебнисто-валунными включениями, с прослоями песков разнотерных. Залегает под водоносным подпорожским водно-ледниковым горизонтом на слабоводоносном палеозойском комплексе дочетвертичных пород.

Слабоводоносный, локально водоносный протерозой-палеозойский кристаллический комплекс (PZ-PR) распространен повсеместно и на значительной части территории – площади обрамления долин залегает первым от поверхности, в межгорных долинах под палеоген - неогеновым, либо подпорожским водно-ледниковым горизонтом, в предгорных долинах под осташковским водно-ледниковым горизонтом.

Подземные воды связаны с дочетвертичными образованиями, приурочены к трещинам в магматических и метаморфических породах палеозой-протерозойского возраста. По характеру циркуляции воды относятся к трещинным. По структурным особенностям Хибинского массива на отдельных участках приобретают черты пластовотрещинных. Водообильность кристаллических пород колеблется в широких

пределах и определяется, прежде всего, интенсивностью проявления тектоники. Значения удельных дебитов скважин колеблется от 0.01 л/сек/м до 3.4 л/сек/м, коэффициенты фильтрации от 0.1 до 16.8 м/сутки.

Питание водоносного комплекса происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод. Хорошая обнаженность интрузивного массива и интенсивная трещиноватость, большое количество атмосферных осадков (более 1000 мм в год) значительная мощность трещиноватых пород создают благоприятные условия для накопления подземных вод в Хибинском гидрогеологическом районе.

Воды коренных пород гидравлически взаимосвязаны с перекрывающими горизонтами и играют важную роль в питании водоносных горизонтов. По химическому составу воды смешанные, сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 0.048-0.1 г/л. Для интрузивного массива характерна повышенная щелочность вод, рН изменяется от 8.7 до 9.52 и повышенное содержание фтора (до 3.7 мг/л).

Подземные воды, приуроченные к метаморфическим протерозойским породам имандра-варзугской синклинальной зоны, развиты на глубине до 50 м (эффективная трещиноватость доломитов) в долинах ручья Аммонального и р. Теплой. Эти воды отличаются более высокой общей минерализацией (от 105 до 327 мг/л) и преимущественно гидрокарбонатно-кальциевым составом, представляют особый интерес для хозяйственно-питьевого водоснабжения, как воды улучшенного питьевого качества.

Водоносный комплекс подвержен техногенному воздействию от систем осушения месторождений, разрабатываемых ниже уровня подземных вод: Апатитовый Цирк, Юкспорское, Кукисвумчоррское, Коашвинское, Расвумчоррское, Ньюрокпахкское. В результате работы рудничных водоотливов произошло снижение уровня подземных вод комплекса до горизонта отработки на всех отработываемых месторождениях.

3. Методика расчета устойчивости бортов карьеров и отвалов

3.1. Методы расчета устойчивости откосов горных выработок

Вопросом устойчивости откосов горных выработок ученые занимаются уже долгое время. На данный момент накоплено огромное количество материала, написано много справочной и учебной литературы, имеются методические указания, проделаны фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования в области определения физико-механических свойств горных пород, расчета устойчивости скальных и песчано-глинистых откосов. Однако развитие открытых горных работ ставит все новые задачи, требует решения вопросов на более высоком уровне, а многообразие горно-геологических и горнотехнических условий не позволяет воспользоваться готовыми параметрами, а требует детальных исследований в каждом конкретном случае. (Лягина, 1984).

Устойчивость откосов горных выработок и отвалов представляет собой раздел геологии, объектами исследования которого являются физические явления, происходящие в массиве пород вследствие горных работ. Целью исследований в таких случаях, являются параметры, обеспечивающие устойчивость откосов карьеров и отвалов, и благодаря которым разработка месторождения безопасна и экономически выгодна.

Исследования устойчивости уступов, бортов карьеров и отвалов включают изучение геологического строения и структуры массива, гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождения, испытание физико-механических свойств пород, визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием откосов. На основе полученных характеристик пород определяют параметры устойчивости откосов уступов, бортов карьеров и отвалов (Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов..., 1970).

Достоверность результатов расчета устойчивости откосов открытых горных выработок и отвалов во многом зависит от методики, принятой для расчета, ее теоретической обоснованности и соответствия горно-геологическим условиям месторождения.

Все расчетные методы оценки степени устойчивости склонов основаны на применении теории предельного равновесия, рассматривающей предельное напряженное состояние грунтового массива.

Устойчивость бортов, уступов и отвалов на разрезах обеспечивается при условиях, когда отношение удерживающих сил, действующих по наиболее

напряженной (наиболее слабой) поверхности в прибортовом массиве, к сдвигающим силам по этой поверхности составляет не менее величины нормативного коэффициента запаса устойчивости, т.е. выполняется условие:

$$\frac{\operatorname{tg} \varphi \sum N + CL + A}{\sum T + B} \geq n_H$$

где $\operatorname{tg} \varphi \sum N + CL$ - сумма сил трения и сцепления, удерживающих откос; $\sum T$ - суммы касательных сил, сдвигающих откос; A - другие силы, удерживающие откос; B - другие силы, сдвигающие откос; n_H - коэффициент запаса устойчивости (Правила обеспечения устойчивости...1999).

Основными вопросами при разработке инженерных методов расчета устойчивости откоса являются: а) определение схемы поверхности скольжения в зависимости от структуры горных пород, б) определение границ между смежными блоками, которые можно рассматривать жесткими, в) определение сил, действующих по поверхности скольжения и по граням между смежными блоками.

При решении задач открытых горных выработок, с учетом сложной неоднородной среды, какой в большинстве случаев и являются горные породы, большее применение находят следующие методы:

1. Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения;
2. Метод многоугольника сил;
3. Метод алгебраического сложения сил по потенциальной поверхности скольжения.

3.1.1. Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения

Метод круглоцилиндрической поверхности широко описан в литературе, но не всегда одинаково трактуется у разных авторов.

Этот метод очень часто используют в строительной практике, и применяется он с помощью самых различных приемов. Поэтому существует большое количество названий данного метода: шведский метод отсеков, метод Петтерсона, метод В. Феллениуса, шведский метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения, метод Терцаги, метод Терцаги-Крея, метод вертикальных элементов, метод Иванова-Тейлора, метод Свена Гультена, метод весового давления и т.д.

Метод круглоцилиндрической поверхности скольжения целесообразно применять, когда откос сложен однородными грунтами. Метод предполагает, что сползание грунта может произойти лишь в результате вращения оползающего массива вокруг центра O . Следовательно, поверхность скольжения будет представлена дугой

некоторого круга с радиусом R , очерченного из центра O (рис. 4). Призма возможного обрушения рассматривается при этом как некоторый твердый блок, всеми своими точками участвующий в одном общем движении («Рекомендации по выбору метода расчета коэффициента устойчивости...», 1986).

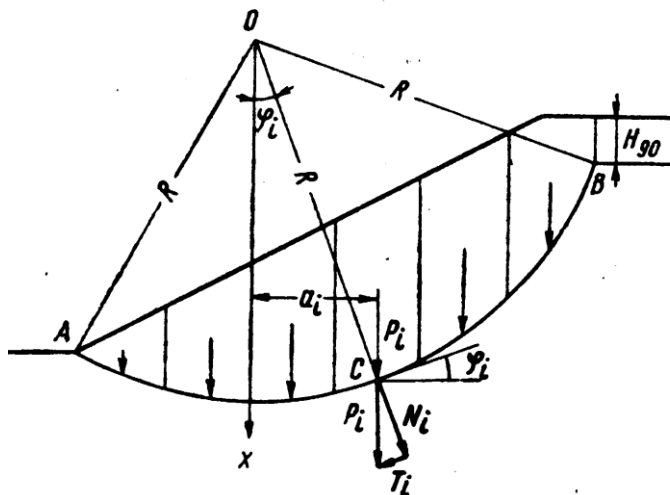


Рис. 4 Схема к расчету методом круглоцилиндрической поверхности скольжения (Фисенко, 1965).

a_i – горизонтальное расстояние между центром тяжести отдельных блоков и точкой O ;

R – радиус круглоцилиндрической поверхности скольжения;

φ_i – угол наклона поверхности скольжения в точке, лежащей на одной вертикали с центром тяжести блока.

Коэффициент устойчивости откоса оценивается с помощью различных методов («метод круга трения», «метод площадей» и т.д.). Наиболее простым в исполнении и одновременно наиболее распространенным является метод моментов, сущность которого заключается в следующем.

Призма обрушения находится под воздействием двух моментов: момента $M_{вр}$ – вращающего массив, и момента $M_{уд}$ – удерживающего массив. Коэффициент устойчивости склона K_y определяется отношением этих моментов, т.е.

$$K_y = M_{уд} / M_{вр}.$$

При этом, так как угол наклона касательной к поверхности скольжения и веса отдельных частей массива не постоянны, приходится расчленять воображаемый оползневой массив (сползающий блок) на n расчетных отсеков, для каждого из которых определяют силы сопротивления сдвигу и сдвигающие силы. Тогда коэффициент

запаса устойчивости склона находится как отношение сумм тех и других моментов («Рекомендации по выбору метода расчета коэффициента устойчивости...», 1986):

$$K_y = \Sigma M_{уд} / \Sigma M_{вр}$$

При этом способе расчета устойчивости откосов величины нормальных напряжений в области призмы активного давления получаются заниженными, а в области призмы упора – завышенными (Фисенко, 1965). Это происходит, потому что массив рассматривается как жесткий клин, без учета реакции между смежными блоками.

На практике данный метод часто осложняется выбором положения центра вращения O . Его координаты, а также радиус R определяются так, чтобы получить для расчета наиболее невыгодное положение принимаемой поверхности скольжения, при которой значение коэффициента устойчивости K_y получается минимальным из возможных для данного склона (откоса). Чаще всего положение центра O устанавливают подбором. Рассматривается несколько возможных радиусов, а затем путем проведения расчетов определяется наиболее опасная поверхность скольжения. Данный метод определения центра вращения довольно трудоемок и требует большого количества времени на его реализацию.

3.1.2. Метод многоугольника сил

Метод многоугольника сил наиболее универсальный для оценки устойчивости бортов и откосов в реальных горно-геологических условиях. Этот метод также известен как метод векторного сложения сил или графоаналитический метод многоугольников сил Г.М. Шахунянца. При реализации данного метода учитываются реакции между блоками, на которые по определенным признакам разбивается призма возможного обрушения.

Метод многоугольника сил хорошо подходит для тех случаев, когда в массиве пород, слагающих откос, имеется ряд поверхностей ослабления, по которым сопротивление сдвигу значительно меньше, чем по другим направлениям. Поверхность скольжения может частично или полностью проходить по таким поверхностям ослабления.

При расчете методом многоугольника сил точность расчета зависит от расположения границ между смежными блоками и от направления реакции между ними. Достаточная точность расчетов достигается, когда границы между блоками принимают подобно расположению второго семейства поверхностей скольжения при

расчете методом предельно напряженного состояния, т.е. под углом $(90^\circ - \phi)$ к первому семейству поверхностей скольжения (рис.5), («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

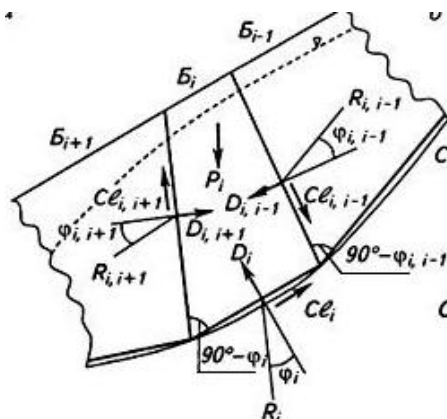


Рис.5 Схема к расчету методом многоугольника сил. Силы, действующие на расчетный блок горных пород («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

При этом в расчет принимаются следующие силы:

P_i - вес рассматриваемого блока;

$C_{li,i+1}$, $C_{li,i-1}$, C_{li} - силы сцепления, направленные параллельно соответствующим границам блока;

$R_{i,i+1}$, $R_{i,i-1}$, R_i - реакции по границам блока;

$D_{i,i+1}$, $D_{i,i-1}$, D_i - силы гидростатического давления по границам блока;

ϕ – угол внутреннего трения пород.

Сложение векторов всех сил, действующих на призму возможного обрушения, разбитую на расчетные блоки, можно выполнить в аналитическом или графическом виде.

Для откоса, находящегося в предельном устойчивом состоянии с заданным коэффициентом запаса, многоугольник сил, построенный по наиболее напряженной поверхности скольжения для всей призмы возможного обрушения, должен замыкаться. Это означает, что его устойчивость обеспечивается с коэффициентом запаса, близким к введенному в прочностные характеристики пород («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

3.1.3. Метод алгебраического сложения сил по потенциальной поверхности скольжения

Метод алгебраического сложения сил по потенциальной поверхности скольжения называют также: обычный метод, метод Г.М. Шахунянца, метод прислоненных отсеков, метод Петерсона, метод алгебраического суммирования, метод

плоских поверхностей сдвига, метод алгебраического сложения сил, метод прислоненного откоса и т.д.

Данный метод чаще всего применяется, когда потенциальная поверхность скольжения каким-либо способом определена на всем протяжении. Например, когда делювиальные отложения залегают на коренных породах, и кровля последних принимается за поверхность скольжения. В таком случае удобно учитывать фактически сдвигающие силы, направленные по касательной к поверхности скольжения. При этом поверхность скольжения представляют состоящей из ряда плоских участков, то есть в виде ломаной линии.

Реально на практике поверхность скольжения не является плоской, а состоит из отдельных участков, имеющих различные наклоны к горизонту, поэтому расчет действующих сил на массив производят для отдельных блоков (рис.6).

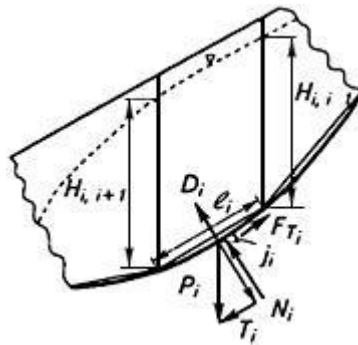


Рис. 6 Схема к расчету методом алгебраического сложения сил («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

При этом в расчет принимаются следующие силы:

N_i , T_i - соответственно нормальная и касательная составляющие веса расчетного блока:

$$N_i = P_i \cos j_i; \quad T_i = P_i \sin j_i.$$

D_i - сила гидростатического давления, направленная перпендикулярно основанию расчетного блока и численно равная произведению среднего значения гидростатического давления $\gamma_v H_{срi}$ на протяженность обводненного блока l'_i

$$D_i = \gamma_v H_{срi} l'_i,$$

$$\text{Где } \gamma_v H_{срi} = \gamma_v \frac{H_{i,i-1} + H_{i,i+1}}{2}$$

F_{Ti} - силы сопротивления срезу (сдвигу) по основанию блока:

$$F_{Ti} = N_i \tan \varphi_i + C_i l_i$$

Где φ_i , C_i - расчетные характеристики прочности пород.

Общее уравнение равновесия, определяющее разность удерживающих и сдвигающих сил по потенциальной поверхности скольжения, по методу алгебраического сложения сил имеет вид:

$$\Delta T = \sum_i [(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i - T_i]$$

Если по наиболее напряженной поверхности разность удерживающих и сдвигающих сил ΔT равна нулю, то массив находится в предельном состоянии.

Коэффициент запаса устойчивости откоса по методу алгебраического сложения сил определяется для наиболее напряженной поверхности скольжения по формуле:

$$n = \frac{\sum_i [(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i]}{\sum_i T_i}$$

Метод алгебраического сложения сил может быть использован, если потенциальная поверхность скольжения имеет вид плавной кривой.

Коэффициент устойчивости, рассчитанный методом алгебраического сложения сил, меньше реального, так как при расчетах принимается, что призма возможного обрушения деформируется как единое целое. Данный метод не учитывает реакции между блоками. Степень несоответствия коэффициента устойчивости зависит от высоты откоса, его угла и углов внутреннего трения пород и может колебаться от 3 до 20%.

При высоте откосов до 100 метров и значениях углов внутреннего трения пород $< 20^\circ$ этот метод дает достаточно надежные результаты.

Метод алгебраического сложения сил хорошо подходит при оценке устойчивости откосов в слабых водонасыщенных горных породах глинистого и песчано-глинистого состава, когда в условиях всестороннего сжатия при определенных величинах напряжений прочностные характеристики данных разностей не могут быть представлены постоянными величинами φ и C , так как у этих пород сопротивление сдвигу перестает возрастать при росте нормальных напряжений.

Оценку устойчивости откосов по наиболее слабой поверхности в этом случае производят, пользуясь общим сопротивлением сдвигу горных пород в каждой точке наиболее напряженной поверхности скольжения без разделения на силы трения и сцепления. Общее сопротивление сдвигу определяется путем испытаний пород на срез при различных нормальных напряжениях и построения графика сопротивления сдвигу для каждого слоя породы (Фисенко, 1965).

Оценка устойчивости откоса в этом случае производится сравнением эпюры предельно допустимых касательных напряжений и эпюры касательных напряжений в рассматриваемом откосе по формуле:

$$\sum \tau_{\text{доп}} / \sum \tau_{\text{сдв}} \geq 1$$

где $\sum \tau_{\text{доп}}$ - сумма допустимых касательных напряжений, взятых с графиков сопротивления сдвигу при соответствующих нормальных напряжениях; $\sum \tau_{\text{сдв}}$ - сумма сдвигающих напряжений, возникающих по наиболее слабой поверхности, являющихся касательными составляющими веса пород по этой поверхности.

3.2. Схемы расчета устойчивости бортов карьеров в различных геологических условиях

Методы расчета устойчивости откосов, учитывают не только напряженное состояние реальных прибортовых и отвальных породных массивов, но и схемы расчета, соответствующие характеру их деформирования в различных горно-геологических условиях.

I группа методов расчета (при отсутствие неблагоприятных поверхностей ослабления).

В однородном откосе (рис. 7), в тех случаях, когда в массиве горных пород нет поверхностей ослабления, падающих в сторону выемки, или горизонтальных, применяется схема расчета, характеризующаяся тем, что поверхность скольжения можно принимать круглоцилиндрической (Фисенко, 1965).

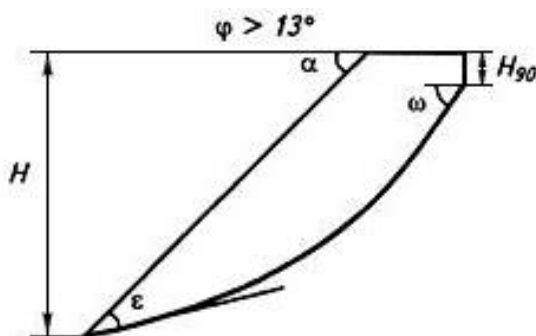


Рис. 7. Однородный (квазиизотропный) откос («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

H - высота борта разреза (карьера), м;

H₉₀ - высота вертикальной трещины отрыва, м;

φ - угол внутреннего трения породы, (...°);

ω - угол наклона поверхности скольжения в верхней части, (...°);

α - угол наклона борта, угол откоса уступа, угол откоса отвала, (...°);

ε - угол между направлением наибольшего главного напряжения и площадкой скольжения, (...°);

β - угол падения слоев и поверхностей ослабления массива, угол наклона основания отвала (слабого контакта в основании отвала), (...°);

В многослойной толще при горизонтальном и близком к нему ($\beta \pm < 5^\circ$) залегании слоев (рис.8), или при наклонном несогласном с наклоном борта залегании слоев ($\beta \leq 50^\circ$) (рис.9), наличие этих естественных поверхностей ослабления практически не влияет на форму поверхности скольжения, и ее построение производят, как и для однородного откоса. При этом средние значения расчетных физико-механических характеристик должны быть определены с учетом удельного веса сопротивления сдвигу каждого инженерно-геологического комплекса (слоя) в общем сопротивлении сдвигу по наиболее напряженной поверхности скольжения.

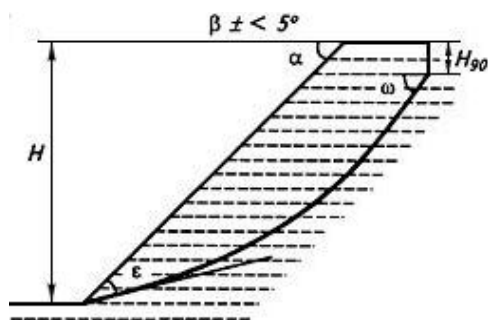


Рис. 8. Слоистая толща с углом падения $\beta \pm < 5^\circ$ при отсутствии слабых пластичных слоев («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

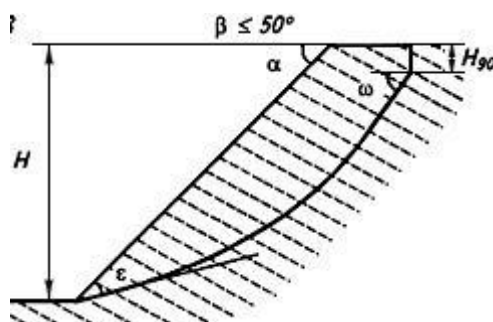


Рис.9. Слоистая толща при наклонном несогласном с наклоном борта залегании слоев $\beta \leq 50^\circ$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

II группа методов расчета (при наличии естественных поверхностей ослабления, влияющих на устойчивость бортов)

Массив горных пород, в большинстве своем, содержит природные (естественные) поверхности ослабления (контакты слоев, трещины большого протяжения, тектонические нарушения и др.), прочность вдоль которых значительно ниже, чем вкрест простирания, и которые, в определенных условиях, частично или полностью формируют поверхности скольжения.

Угол падения естественных поверхностей ослабления и ориентировка их относительно простирания борта разреза или откоса уступа определяют схему расчета устойчивости откоса.

1. Поверхность скольжения полностью совпадает с поверхностью ослабления массива (рис. 10):

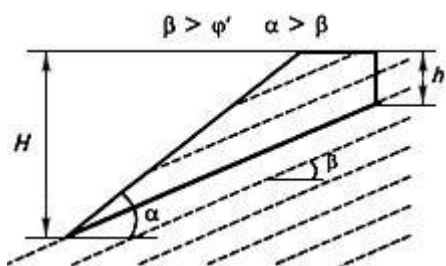


Рис.10. Наклонные согласно залегающие с откосом поверхности ослабления слои ($\alpha > \beta > \varphi'$) («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

В случае залегания пород в форме синклиналиальных складок, одно крыло которых срезается горными выработками, используется схема мультдообразного залегания слоев (рис. 11). Форма поверхности скольжения имеет вид плавных кривых, их положение в массиве борта карьера и конфигурация поверхности борта определяются методом подбора (Фисенко, 1965).

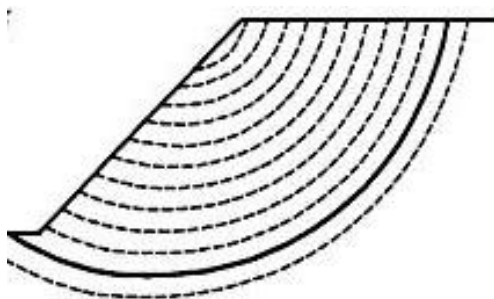


Рис. 11 Мультдообразное залегание слоев, согласно с откосом («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

2. Поверхность скольжения частично совпадает с поверхностью ослабления (рис.12-16):

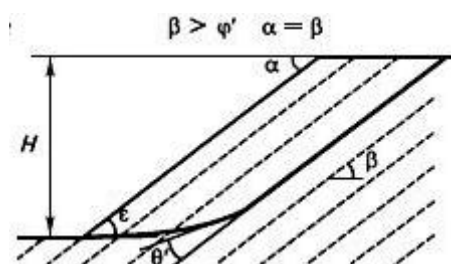


Рис. 12. Уступ, заоткошенный по наслению, $\beta > \varphi'$, $\alpha = \beta$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

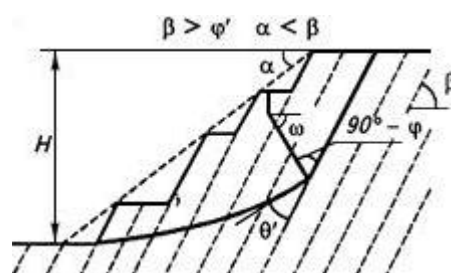


Рис. 13. Наклонное и крутое согласное с откосом залегание слоев $\alpha < \beta < 70^\circ$, $\beta > \varphi'$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

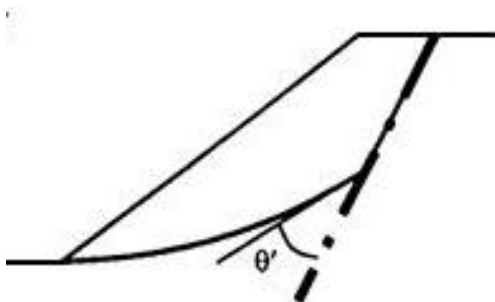


Рис. 14. Тектоническое нарушение при согласном залегании с бортом («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

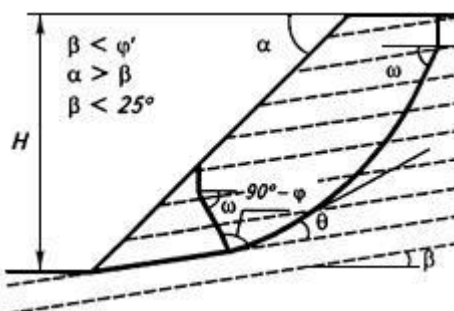


Рис.15. пологое залегание естественных поверхностей ослабления при $\alpha > \beta$, $\beta < \varphi'$, $\beta < 25^\circ$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

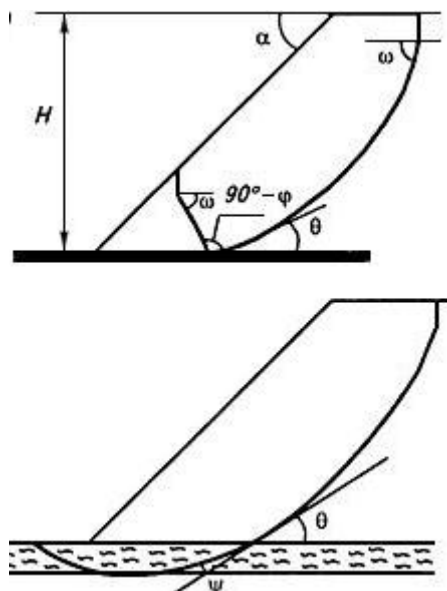


Рис.16. Горизонтальный или пологозалегающий контакт (пластичный пропласток или слой) или тектоническое нарушение, залегающие в основании борта («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

III группа методов расчета (при крутом и вертикальном залегании слоев)

В предельном состоянии слоев в массиве формируется плавная поверхность обрушения, состоящая из двух участков. При падении слоев в сторону массива в его нижней части формируется сплошная поверхность скольжения, пересекающая слои горных пород, по форме близкая к круглоцилиндрической. Она выходит в нижнюю бровку под углом $(45^\circ - \varphi/2)$ к поверхности откоса. В верхней части откоса происходит разрушение каждого отдельного слоя по площадкам, ориентировка которых определяется условием специального предельного равновесия (рис.17,18).

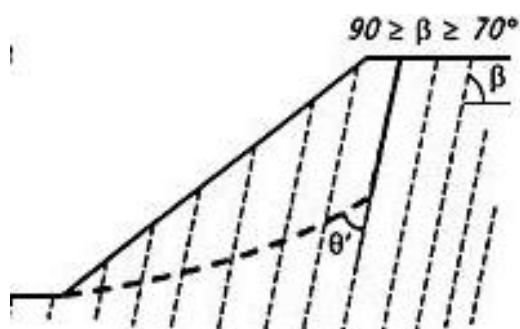


Рис.17. Крутое согласное с наклоном борта залегание слоев при $90^\circ > \beta > 70^\circ$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

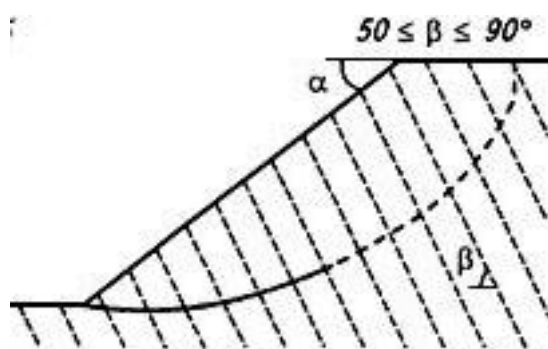


Рис.18. Несогласное с наклоном борта падение слоев $50 \leq \beta \leq 90^\circ$ («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

3.3. Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров

Факторы, влияющие на устойчивость бортов карьеров, можно разделить на четыре группы:

- инженерно-геологические;
- гидрогеологические;
- физико-географические;
- горно-технические.

Инженерно-геологические факторы.

Основными инженерно-геологическими факторами являются:

1. Структурно-тектоническое строение массива.

Потенциальная поверхность скольжения, ее форма и пространственное положение во многом зависит от ориентировки поверхностей ослаблений в откосе. В массиве горных пород необходимо учитывать поверхности слоистости, сланцеватости, разрывных тектонических нарушений, поверхностей древних оползней. Структурно-тектоническое строение является одним из решающих факторов при выборе схемы расчета устойчивости откосов. Огромную роль этот фактор играет в массивах, сложенных осадочными слоистыми породами, в которых есть падение слоев и нарушений в сторону открытой горной выработки, так как по таким поверхностям ослабления сцепление незначительно, а углы трения существенно меньше, чем по другим направлениям.

2. Прочность горных пород в прибортовом массиве.

Основными прочностными характеристиками массива при оценке устойчивости откосов являются показатели сопротивления сдвигу или срезу (сцепление и угол внутреннего трения). Эти показатели определяются генезисом пород, степенью литификации осадочных пород, их литолого-петрографическими особенностями (минеральным и гранулометрическим составами, структурой и текстурой в образце, составом цемента в осадочных сцементированных породах, плотностью сложения в рыхлых несвязных породах - песках, галечниках, гравелистых породах, плотностью сложения и влажностью в мягких связных - глинистых породах); сцепление в массиве всех трещиноватых пород зависит от прочности (сцепления) пород в образце, интенсивности и характера трещиноватости пород (формы и размера структурных блоков), а также сцепления пород по контактам слоев и другим поверхностям ослабления («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

3. также необходимо учитывать, что прочностные характеристики пород на контакте с другими породами или на поверхностях ослабления должны определяться

отдельно, так как они зависят от характера контакта и контактирующих поверхностей (контакты открытые, закрытые, с заполнителем; поверхности ровные, неровные, гладкие, шероховатые).

4. Деформационные характеристики пород.

5. Набухание, разуплотнение, выветривание, выщелачивание.

Гидрогеологические факторы.

Влияние подземных вод сводится к следующим трем факторам:

1. Изменение напряженного состояния прибортового массива горных пород: гидродинамическое давление и гидростатическое взвешивание.

Гидростатическое давление (взвешивание) действует по наиболее слабой поверхности. Вода оказывает взвешивающее действие на слагающие склон породы, изменяя силы гравитации. Насыщая грунты, вода изменяет их физико-механические характеристики и, в частности, сдвиговые характеристики, уменьшая величину сопротивления сдвигу. Кроме того, подземные воды, смачивая возможные поверхности скольжения, в виде смазки уменьшают силы трения. При этом вода, взвешивая грунтовый скелет, снижает за счет порового давления нормальные напряжения σ в плоскости сдвига и может привести к почти полному снятию внутреннего трения в грунте. Механизм этого явления виден из уравнения сдвига

$$\tau = (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi + c.$$

При достаточном возрастании порового давления u величина $\sigma - u$ может оказаться равной нулю, и тогда сопротивление грунта сдвигу τ будет определяться только сцеплением. Таким образом, вода снижает несущую способность грунта. («Рекомендации по выбору методов расчета...», 1986).

Важным фактором является также проявление фильтрационного (гидродинамического) давления подземных вод. Это объемная сила, направление которой совпадает с направлением линии тока, а величина равна градиенту потока. Как известно, фильтрационное давление создается во всех случаях движения подземных вод. Падение напора появляется там, где есть градиент, где есть уклон поверхности свободного подземного потока или линии пьезометрического уровня для напорных вод. Преодоление сопротивления течению воды в грунте вызывает падение напора. Это сопротивление в виде реакции и создает фильтрационное давление. Обычно подземный поток течет в сторону поверхности склона. При этом толща, слагающая склон, испытывает фильтрационное давление, имеющее одинаковое основное направление с

оползневым давлением. Следовательно, фильтрационное давление является одним из факторов - побудителей к развитию оползневых явлений.

Суммарное влияние гидростатического взвешивания и гидродинамического давления проявляется как гидростатическое давление, действующее по поверхности скольжения и направленное по нормали к ней. Гидростатическое давление снижает эффективные напряжения в массивах горных пород и способствует уменьшению сил, удерживающих массивы в устойчивом состоянии. Гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление оказывают существенное воздействие на устойчивость борта в целом при условии, что значительная часть призмы возможного оползания находится ниже депрессионной (пьезометрической) кривой, или же при больших перепадах напоров в прибортовой зоне вблизи откоса (Фисенко, 1965).

2. Снижение прочности пород, склонных к набуханию.

Под влиянием поверхностных вод (в основном дождевых и талых, а также подземных, стекающих по поверхности откосов при отсутствии организованного их отвода) песчано-глинистые породы разуплотняются, увлажняются и набухают, что может приводить к оползанию слагаемых ими уступов («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

3. Механический вынос и снос - поверхностная эрозия, оплывание, суффозия и другие фильтрационные деформации.

Физико-географические факторы.

К этой группе факторов относятся климатические условия, орогидрография участка разреза и прилегающей к нему территории, сейсмичность района, наличие и характер распространения многолетней мерзлоты.

К климатическим факторам, оказывающим влияние на устойчивость откосов, относятся: количество атмосферных осадков, характер дождей, мощность снегового покрова и продолжительность его таяния (с этим фактором связано питание водоносных горизонтов, развитие деформаций). Температурный режим района, глубина сезонного промерзания и оттаивания пород оказывают влияние на интенсивность выветривания слабостойких пород, образование осыпей и разрушение берм; режим ветров, их сила, продолжительность и направление влияют на устойчивость песчаных откосов и на выветривание пород («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

Рельеф местности способствует образованию поверхностных водоемов и влияет на характер стока атмосферных осадков и обводнение пород в окрестности карьера.

Горнотехнические факторы.

К основным факторам этой группы относятся: способы ведения буровзрывных работ, форма выемки в плане, высота и профиль борта, параметры элементов уступов.

Способ производства буровзрывных работ, параметры уступов и берм (ширина берм, частота их расположения) оказывают наибольшее влияние на устойчивость откосов уступов, сложенных скальными и полускальными породами, и на величину углов наклона бортов. Степень влияния взрывных работ на уменьшение прочности массива горных пород зависит от способа взрывания, расстояния от места взрыва и структуры массива.

На устойчивость рыхлых или выветрелых пород, склонных к набуханию или размоканию, влияют профиль площадок уступов, обеспечивающий сток дождевых и талых вод, и своевременная заоткоска уступов.

Форма выемки в плане определяет наличие в различных горно-геологических условиях сил бокового распора, влияющих на предельные параметры устойчивых откосов («Правила обеспечения устойчивости...», 1999).

В зависимости от структурного и литологического строения массива горных пород степень влияния перечисленных выше факторов на устойчивость бортов различна.

3.4. Учет сейсмических воздействий при расчете устойчивости откоса

При расчете устойчивости склонов или откосов необходимо учитывать сейсмичность района работ.

Сила землетрясения оценивается по двенадцатибалльной шкале. Для каждого района указывается максимальная балльность, которой может достигнуть землетрясение в этом районе. Расчеты откосов и склонов в районах, для которых сила землетрясения оценивается в 7 баллов и выше, производятся с учетом сейсмичности. Однако на отдельных участках одного и того же по балльности района фактическая сила землетрясений может отличаться от средней в зависимости от геологических условий. Неблагоприятными в сейсмическом отношении являются: насыщенные водой гравийные, песчаные и лессовидные грунты; мягкопластичные и текучие глинистые грунты; участки местности с сильно расчлененным рельефом - обрывистые берега, овраги, ущелья; выветрелые и сильно нарушенные породы; участки с близким расположением линий тектонических разрывов. Менее опасны в сейсмическом

отношении неветрелые скальные грунты, а также плотные и маловлажные крупнообломочные грунты («Рекомендации по выбору методов расчета...», 1986).

В неблагоприятных геологических условиях средняя сейсмическая балльность района должна повышаться на один балл; при благоприятных условиях - понижаться на один балл.

Учет сейсмического воздействия на устойчивость откосов горных выработок осуществляется добавлением к расчетным усилиям так называемой сейсмической силы.

Сейсмическая сила Q_c приближенно определяется как доля от веса массы грунта, которая претерпевает сейсмическое воздействие:

$$Q_c = \mu P$$

где P - вес одного из отсеков, на которые разбивается оползневой блок

μ - коэффициент динамической сейсмичности, значения которого рекомендуется при расчете естественных склонов принимать по табл.1.

Таблица1.

Коэффициент динамической сейсмичности («Рекомендации по выбору методов расчета...», 1986).

Сейсмическая балльность района	1 - 6	7	8	9	10	11	12
μ	0,00	0,025	0,050	0,10	0,25	0,50	> 0,75

При расчете искусственных откосов (насыпи дорог, плотины т.д.) значения коэффициента следует (приближенно) увеличивать в 1,5 раза.

Направление силы Q с рекомендуется считать наиболее неблагоприятным. В связи с этим будем принимать, что сейсмические силы в каждом отсеке оползневого блока направлены параллельно основанию отсека, то есть совпадают с направлением сдвигающей силы в этом отсеке. Тогда при разбивке оползневого блока на отсеки сейсмические силы будем учитывать в отдельности при рассмотрении каждого отсека (складывать их со сдвигающими силами).

4. Расчет устойчивости восточного борта Коашвинского карьера

4.1. Схематизация инженерно-геологических условий восточного борта Коашвинского карьера

Разработка Коашвинского месторождения ведется открытым способом. Отработка значительно осложнена из-за значительных водопритокков в карьер из водоносного комплекса четвертичных пород, приуроченных к межгорной долине р. Вуоннемйок, в частности с северо-западного, северо-восточного и восточного бортов карьера. Скважины водопонижения оборудованы лишь на второй от поверхности напорный подпорожский водно-ледниковый горизонт, которые из-за нерегулярной работы, частого выхода из строя увеличивают и так высокие значения карьерного водоотлива.

Для расчета устойчивости бортов Коашвинского карьера было проведено инженерно-геологическое обследование масштаба 1:5000 уступов рабочего восточного борта Коашвинского карьера, сложенных четвертичными отложениями. Для оценки изменения устойчивости откосов съемка производилась в дождливый период. Были обследованы:

- уступ +233-240 м;
- полка +240-243 м;
- уступ +240-250 м;
- полка +250-256 м;
- уступ +250-263 м;
- полка +260-263 м;
- уступ +260-270 м;
- полка +270 м.

В результате обследования выявлена высокая неоднородность геологического строения четвертичных отложений как в разрезе так и по площади, а также интенсивное развитие инженерно-геологических (горно-геологических) процессов.

Уступ +233-240 м сложен флювиогляциальными отложениями и на нем повсеместно отмечались выходы карьерных вод, формирующихся за счет атмосферных осадков. Выходы сосредоточены в верхней части уступа по прослою супеси (мощностью 0,4 м) на высоте 2,0 м от верха в валунно-гравийно-галечных отложениях и образуют мелкие суффозионные ниши (размером 0,3-1,0 м). Выходов подземных вод на уступе не отмечалось. На откосе уступа на момент съемки выявлено большое количество промоин глубиной от 0,5 до 2,0 м, отмечалось выполаживание откоса (до 37-45°).

При обследовании вышерасположенной полки +240 м на участках где еще не произошло выполаживание уступа отмечены многочисленные трещины отрыва на расстоянии 2-5 м от края. Трещины раскрытые (до 5-7 см) глубиной до 30 см. Повидимому, при интенсивном выпадении осадков и здесь произойдет выполаживание. На участках, где на полке сооружен заградительный вал из глыб коренных пород отмечаются суффозионные воронки глубиной до 1,0 м и шириной до 3-4 м, которые, иногда, соединяясь, образуют промоины длиной до 40 м.

Вышерасположенный уступ (+240-250 м) сложен валунно-гравийно-галечными отложениями, глинами и песками тонко-мелкозернистыми пылеватыми, причем глины образуют в верхней части субвертикальные стенки, а нижней части угол уменьшается до 61-68°. В тоже время на участках сосредоточенных стоков карьерных вод отмечаются опывания грунтов под углами до 16-26°, причем грунт на поверхности полки при водонасыщении приобретает тиксотропные свойства. На участках, где откос сложен глинами и перекрывающими их песками отмечены единичные суффозионные ниши размером до 0,7х1,2 м, как раз и приуроченные к контакту.

Полка+250-256 м подрезана и на ней практически находится только пригрузка.

На полке +260-263 м отмечаются многочисленные трещины отрыва параллельные бровке и находящиеся на расстоянии 0,8-3,0 (в основном 2,0) от нее. Глубина трещин достигает 0,8 м при раскрытии до 20 см. К трещинам приурочены многочисленные суффозионные воронки размером от 3 до 10х8 м и глубиной до 3,0 м. На отдельных участках отмечаются небольшие оползни протяженностью до 30-40м и мощностью до 2 м.

Вышерасположенный уступ (+260-270 м) сложен гравийно-галечными отложениями, выположен до 45-46°, но другие деформации отсутствуют.

Полка +270 м хорошо спланирована, покрыта песком и мелкой галькой, суффозионные деформации отсутствуют, но на расстоянии 6 м от края проходит мощная трещина отрыва.

По результатам инженерно-геологического обследования и анализа описания гидрогеологических скважин можно рекомендовать следующий схематичный разрез четвертичных отложений восточного борта карьера (табл.2).

Таблица 2.

Схематичный разрез четвертичных отложений восточного борта

Геологический индекс	Краткое описание пород	Мощность, м	Плотность, ρ г/см ³	Сцепление, с, МПа	Угол внутреннего трения, ϕ , град.
t, Q _{IV}	Песок пылеватый с валунами (5%), галькой (5%), с прослоями песка мелкого и крупного	8,8-9,8	1,8	0,005	26°
f, lgQ _{III OS}	Гравийно-песчаные отложения, песок р/з, гравий (20%), включения гальки и щебня до 20%, единичных валунов	9,2-10,7			
	Гравийно-галечные отложения с песчаным (к/з) заполнителем. Гравия 15-20%, гальки до 20-30%. Единичные прослои супеси.	12,6-17,0			
	Песок т-м/з, пылеватый, с прослоями гравелистого и к/з песка	0-3,0	1,80	0,005	26°
l Q _{III ln}	Глина твердая, с редкими прослоями песка и включениями гравия и гальки	1,5-7,0	1,82-1,94	0,045-0,0975	15°20'-27°40'
f, lgQ _{III pd}	Суглинок с включениями гальки и гравия до 50%	0-1,5	1,83	0,045	27°40'
	Валунно-гравийно-галечные отложения с песчаным заполнителем (с-к/з)	5,0-7,0	2,04	0,0083	29°
	Песок к-с/з с галькой и валунами	0-2,0			
	Суглинок переходящий в супесь с тонкими прослоями песка пылеватого	0-3,5			
	Валунно-гравийно-галечные отложения с песчаным заполнителем. В верхней части слоя с супесчаным заполнителем	4,2-8,0			
	Дресва, щебень, валуны, песок с прослоями супеси	1,9-2,0			

В результате обследования уступов восточного борта Коашвинского карьера были отмечены случаи осыпания и оплывания пород. Интенсивность их проявления не сказывается на общей устойчивости борта, хотя в определенной мере затрудняет работу горно-транспортного оборудования. В тоже время по данным геолого-маркшейдерской службы карьера отмечаются случаи образования оползней на уступах сложенных четвертичными отложениями. Крупный оползень произошел 08.08.1999 г. и захватил три уступа в четвертичных породах (абс. отм. +225-270 м) и два уступа коренных пород (абс. отм. +193-225 м). Поверхность скольжения проходила по отложениям покровной морены, озерно-ледниковым, флювиогляциальным отложения и по их контакту с коренными породами выходила в основание откоса на абсолютной отметке +225 м. На основании изучения положения поверхности скольжения можно в первом приближении восстановить механизм образования оползня. На первом этапе, вероятно, произошло нарушение устойчивости и сползание массива пород в интервале абсолютных отметок +225-263 м. Перемещение большой массы пород вниз по склону привело к сглаживанию профилей двух ниже расположенных уступов в коренных породах. В результате образовался откос высотой до 38 м с углами наклона, на отдельных участках, более 50° , что вызвало дальнейшее нарушение устойчивости пород и образование еще одного оползня в интервале абсолютных отметок +250-270 м. Восстановив механизм образования оползня и этапы его формирования, не составляет особого труда определить причины его возникновения.

Комиссия по расследованию причин разрушения восточного борта Коашвинского карьера пришла к выводу, что причиной является оплывание моренного грунта, вызванного исключением из работы водопонижительных скважин № 38-41 и формированием избыточного напора до 10-16 м в основании откоса.

На отдельных разрезах тела оползня в зоне контакта коренных пород и четвертичных отложений отмечаются глинистые прослои, по которым, по-видимому, и произошло смещение.

Толчком к формированию оползня является совместное действие гидростатических и гидродинамических сил грунтового и напорного водоносных горизонтов на участках локальных разгрузок в период осенних и весенних паводков, когда расходы достигают $1400 \text{ м}^3/\text{час}$ (по данным МГРЭ) и даже $2000-3000 \text{ м}^3/\text{час}$ (по заключению комиссии), а величина напоров превышает 10-15 м. Причем, если водный поток напорного горизонта в какой-то мере обязаны перехватывать водопонижительные скважины, то для грунтового, водообильность которого в другие периоды года незначительна, дренажная система отсутствует. Следует отметить, что

сосредоточенные выходы грунтовых вод с большими расходами отмечаются только в зоне развития озерно-ледниковых пылеватых (разнозернистых) песков, положение которой по площади пока не установлено.

Интенсивная разгрузка подземных вод сопровождается и уменьшением прочностных свойств четвертичных пород, что также приводит к снижению устойчивости уступов карьера.

4.2. Результаты лабораторных определений физико-механических свойств пород

Результаты лабораторных определений были предоставлены ОАО «Мурманской геологоразведочной экспедицией».

Образцы глинистых пород отбирались ненарушенного сложения (монолиты и бюксы на влажность), песчаных и крупнообломочных пород - нарушенного сложения.

По глинистым породам (монолиты) определялся полный комплекс физико-механических свойств с определением сопротивления срезу (консолидированный срез) с нагрузкой до 2.5 МПа (гигроскопическая влажность, границы текучести и раскатывания, плотность частиц, гранулометрический состав, сопротивление срезу по 4-6 точкам). Для проб нарушенного сложения определяется естественная влажность, границы текучести и раскатывания.

Основную часть разреза уступов карьера составляют крупнообломочные породы с пылеватым и глинистым заполнителем, для которых зачастую неприменима стандартная методика определения прочности на срез (сдвиг) по ГОСТ 12248-2010. Крупнообломочные породы с пылеватым и глинистым заполнителем и пылеватые и глинистые породы с крупнообломочными включениями являются сложными природными многокомпонентными системами. Согласно ГОСТ 25100-11 они относятся к двум различным подгруппам: подгруппе крупнообломочных и подгруппе пылеватых и глинистых. Многочисленные исследования (в т.ч. ДальНИИС) показали, что содержание в гранулометрическом составе более 50% частиц крупнее 2 мм не являются одновременно границей качественного изменения их механических свойств, обломочно-пылевато-глинистые грунты с содержанием 20-90% обломков должны рассматриваться как грунты одного типа.

Исходя из вышесказанного определение прочностных характеристик методом одноплоскостного среза производилось по двум методикам:

- по ГОСТ 12248-2010 на срезном приборе с площадью среза 40см²
- по методике ВНИМИ на срезном приборе с площадью среза 500см²;

По песчаным породам (если получится отобрать монолит) определяется полный комплекс физико-механических свойств с определением сопротивления срезу (неконсолидированный срез) с нагрузкой до 2.5 МПа (влажность, плотность в рыхлом и плотном состоянии, плотность частиц, гранулометрический состав, угол естественного откоса, сопротивление срезу по 4-6 точкам). Если монолит отобрать технически невозможно – определяется полный комплекс физических свойств (без сопротивления срезу).

Гранулометрический состав и физические свойства пород приведены в Приложении №1, результаты сопротивления срезу в Таблице 3.

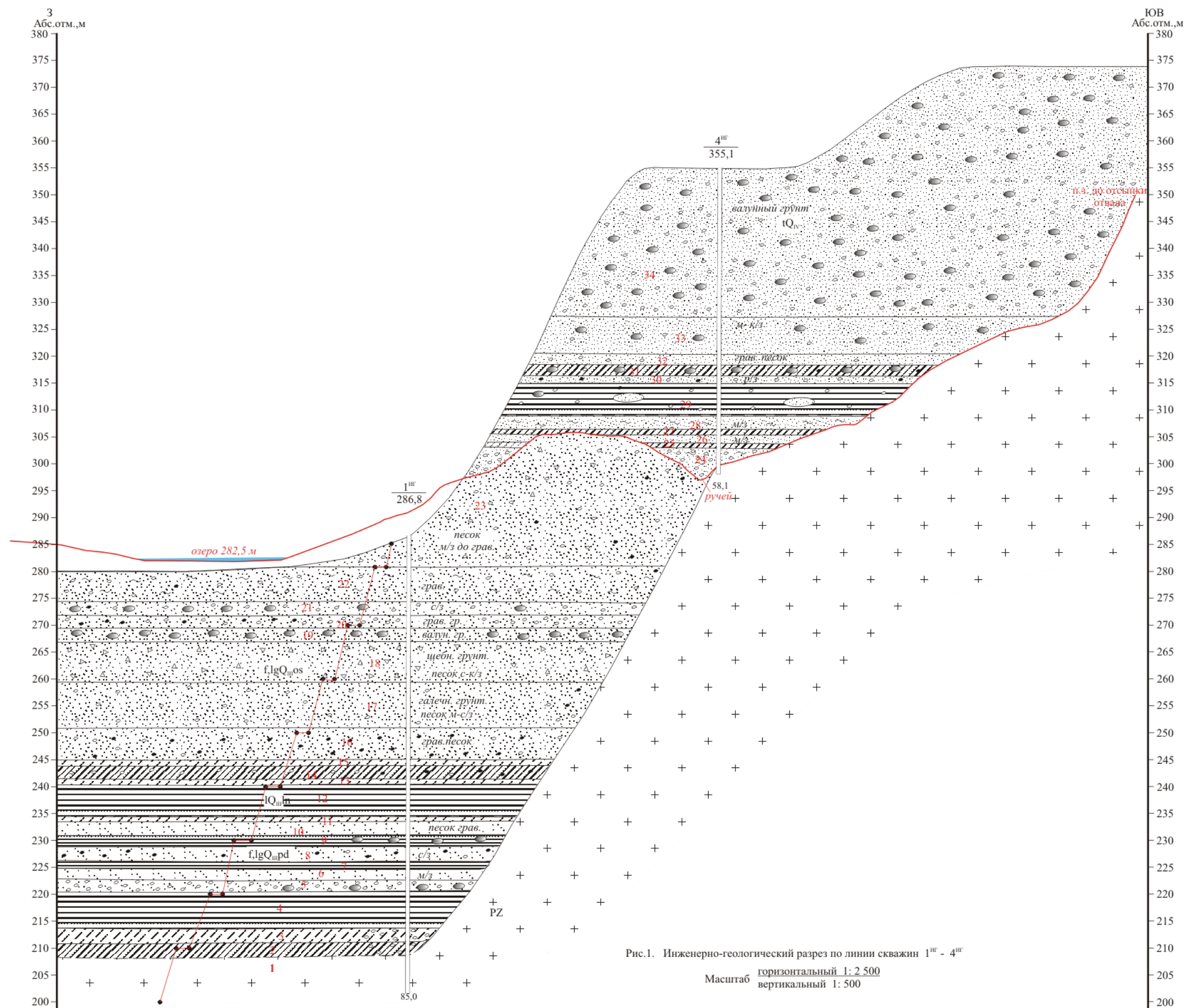
Таблица 3

Результаты лабораторного определения прочностных свойств
песчано-глинистых пород

№ пробы	Наименование породы	№ слоя (абс.отметка)	ρ , г/см ³	ϕ , град.	C, МПа
1/1	Суглинок легкий, пылеватый	11 (235,0-235,5)	1,90	21	0,025
2/1	Супесь пылеватая , твердая	13 (240,0-240,5)	1,97	28	0,020
3/1	Глина легкая пылеватая полутвердая	23 (278,0)	2,15	19°	0,04
3/2	Гравийный грунт, заполнитель-супесь пылеватая	23 (278,0-278,5)	1,86	39°	0,001
3/3	Гравийный грунт, заполнитель-супесь пылеватая	23 (275,0-275,5)	1,84	37°	0,001
5/1	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	22 (273,5-274,0)	1,83	37°	0,001
5/1	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	22 (273,5-274,0)	1,83	37°	0,001
5/1	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	22 (273,5-274,0)	1,82	37°	0,001
6/1	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	20 (268,0-268,5)	2,13	43°	0,026
6/2	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	20 (267,5-267,0)	2,14	42°	0,029
6/3	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	20 (268,0-267,5)	2,14	42°	0,03
7/1	Гравийный грунт, заполнитель-песок мелкий	19 (263,0-263,5)	2,14	43°	0,02
7/2	Гравийный грунт, заполнитель-песок мелкий	19 (262,0-262,8)	2,07	43°	0,02
7/3	Гравийный грунт, заполнитель-песок мелкий	19 (263,0-263,5)	2,09	43°	0,02
8/1	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	18 (251,0-251,5)	2,08	42°	0,02
8/2	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	18 (252,0-252,5)	2,00	38°	0,001

8/3	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	18 (253,0-253,5)	2,08	42°	0,02
9/1	Песок гравелистый , заполнитель-суглинок легкий пылеватый	10 (242,9-242,7)	2,06	33°	0,021
9/2	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	10 (236,35-236,2)	2,05	37°	0,015
9/3	Песок гравелистый, заполнитель -супесь пылеватая	10 (236,0-235,7)	2,05	38°	0,01
10/1	Песок гравелистый , зап.олнитель -суглинок легкий пылеватый	9 (229,0-229,2)	2,13	37°	0,01
10/2	Суглинок тяжелый пылеватый	9 (229,2-229,5)	1,97	27°	0,04
10/3	Суглинок тяжелый пылеватый	9 (229,5-229,7)	1,90	19°	0,03
11/1	Песок гравелистый, заполнитель -суглинок легкий пылеватый	8 (227,0-227,2)	2,10	37°	0,01
11/2	Песок гравелистый, заполнитель -суглинок легкий пылеватый	8 (227,6-228,0)	2,08	37°	0,01
11/3	Песок гравелистый, заполнитель -суглинок легкий пылеватый	8 (228,0-228,2)	2,08	37°	0,01
12/1	Песок гравелистый, заполнитель -суглинок легкий пылеватый	6 (224,0-224,2)	2,02	38°	0,02
12/2	Суглинок легкий, пылеватый	6 (223,8-224,0)	2,04	29	0,020
12/3	Песок гравелистый, заполнитель -суглинок легкий пылеватый	6 (223,8-223,5)	2,03	38	0,01
Вост. борт.	Суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный	2 (210,0-215,0)	1,91	29°	0,0137

Характер разреза четвертичных отложений, анализ литолого-генетических и физико-механических особенностей грунтов позволяет принять за основу схему расчленения четвертичного разреза на 34 слоя (рис. 19).



Слой 34 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 27,8 м. Вскрытый разрез представлен валунным и глыбовым грунтом. Заполнителем является галечниковый грунт, песок гравелистый. Плотность частиц составляет 2,83 г/см³. По «Технологическому регламенту» [1] плотность составляет 2,56 т/м³, угол внутреннего трения – 25°, сцепление 0,1 МПа.

Слой 33 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 6,7 м. Вскрытый разрез представлен песками от мелких до крупных, коричневого цвета с единичными обломками глыб и валунов. Плотность частиц составляет 2,85 г/см³. Угол естественного откоса в сухом состоянии 43°, под водой 33°. Свойства приняты по аналогии с опробованными грунтами: плотность - 2,13 т/м³, угол внутреннего трения – 38°, сцепление 0,02МПа.

Слой 32 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 2,0 м. Вскрытый разрез представлен песком гравелистым с включением мелкого щебня и обломками валунов до 25-30%. Заполнителем является суглинок легкий, пылеватый и супесь пылеватая. Плотность частиц составляет 2,88 г/см³. Плотность составляет 2,06-2,13 т/м³, угол естественного откоса в сухом состоянии 43-45°, под водой 33-34°, угол внутреннего трения – 11°20', сцепление 0,105 МПа.

Слой 31 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 2,0 м. Вскрытый разрез представлен суглинком легким пылеватым, мягкопластичным с включением обломков валунов до 40% и гальки до 15%. Плотность частиц составляет 2,77 г/см³. Свойства приняты по аналогии с опробованными грунтами. Плотность составляет 2,06 т/м³, угол внутреннего трения – 11°20', сцепление 0,105 МПа.

Слой 30 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 1,5 м. Вскрытый разрез представлен песками от мелких до гравелистых коричневого цвета с единичными обломками глыб и валунов. Плотность частиц составляет 2,81 г/см³. Свойства приняты по аналогии с опробованными грунтами. Угол естественного откоса в сухом состоянии 43°, под водой 33°. Плотность - 2,13 т/м³, угол внутреннего трения – 38°, сцепление 0,02МПа.

Слой 29 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 3,1 м. Вскрытый разрез представлен суглинком тяжелым пылеватым, текучим. Плотность частиц составляет 2,81 г/см³. Плотность составляет 1,67 т/м³, угол внутреннего трения – 11°20', сцепление 0,105 МПа.

Слой 28 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 2,8 м. Разрез представлен песками светло-коричневыми, мелкими, пылеватыми с гравием до 20% и галькой менее 10%. Слой не опробован, поэтому свойства приняты по аналогии с опробованными. Угол естественного откоса в сухом состоянии 43° , под водой 33° . Плотность - $2,13 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление $0,02 \text{ МПа}$.

Слой 27 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 1,0 м. Разрез представлен суглинком с прослоями песка и включениями гравия. Слой не опробован, поэтому свойства приняты по аналогии: плотность составляет $2,00 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – $11^\circ 20'$, сцепление $0,105 \text{ МПа}$.

Слой 26 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 1,5 м. Разрез представлен песками мелкими (по лабораторным данным гравийным грунтом с супесчаным заполнителем) серо-зеленый с включениями гравия. Плотность частиц составляет $2,83 \text{ г/см}^3$. Свойства приняты по аналогии: угол естественного откоса в сухом состоянии 43° , под водой 33° . Плотность - $2,13 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление $0,02 \text{ МПа}$.

Слой 25 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 1,0 м. Разрез представлен суглинком с прослоями песка и включениями гравия. Слой не опробован, поэтому свойства приняты по аналогии: плотность составляет $2,00 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – $11^\circ 20'$, сцепление $0,105 \text{ МПа}$.

Слой 24 (tQ_{IV}) представлен техногенными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 4 составляет 3,0 м. Разрез представлен галечниковым (по лабораторным данным гравийным грунтом с супесчаным заполнителем) грунтом с включениями гравия и единичными валунами, заполнитель – песок гравелистый. Плотность частиц составляет $2,80 \text{ г/см}^3$, остальные свойства приняты по аналогии: плотность $1,90 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 40° , сцепление $0,01 \text{ МПа}$.

Слой 23 ($gQ_{шос}$) представлен отложениями покровной морены. Вскрытая мощность составляет около 25,0 м. Разрез представлен песками от мелкий до гравелистых, от зеленого до серого цвета, с поверхности слабоуплотненными далее рыхлыми с включениями дресвы, щебня до 10% и гальки до 30%. Слой не опробован, поэтому свойства приняты по аналогии с опробованными. Угол естественного откоса в сухом состоянии 43° , под водой 33° . Плотность - $1,75 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 30° , сцепление 0.

Слой 22 ($gQ_{шос}$) представлен отложениями покровной морены. Вскрытая мощность по скв. №1 составляет 6,6 м. Разрез представлен песком гравелистым с супесчаным заполнителем, зеленовато-серым, рыхлым, с включениями крупной слабоокатанной галькой до 40%. Плотность частиц составляет $2,76 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 41° , под водой 30° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $1,80 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление 0.

Слой 21 ($gQ_{шос}$) представлен отложениями покровной морены. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,2 м. Разрез представлен песком средней крупности плотными, влажным с включениями дресвы до 10%, гальки до 30% и валунами. Слой не опробован, поэтому свойства приняты по аналогии. Угол естественного откоса в сухом состоянии 39° , под водой 34° . Плотность - $1,80 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 40° , сцепление $0,003 \text{ МПа}$.

Слой 20 ($gQ_{шос}$) представлен отложениями покровной морены. Вскрытая мощность по скв. №1 составляет 2,7 м. Разрез представлен гравийным (по лабораторным данным гравелистым песком с супесчаным заполнителем) грунтом с заполнителем – песком средней крупности, влажным с дресвой до 5%. Плотность частиц составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 42° , под водой 31° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $2,0 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление 0.

Слой 19 ($gQ_{шос}$) представлен отложениями покровной морены. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,3 м. Разрез представлен валунным (по лабораторным данным гравийным грунтом с супесчаным заполнителем) грунтом с песком средней мелкости в качестве заполнителя и включениями дресвы (5%) и гравия (5-10%). Плотность частиц составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, остальные свойства приняты по аналогии: плотность $2,16 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 40° , сцепление $0,01 \text{ МПа}$.

Слой 18 ($f, lgQ_{шос}$) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 7,7 м. Разрез представлен щебенистым (по лабораторным данным песком гравелистым с супесчаным заполнителем) грунтом с песком мелким и средней крупности в качестве заполнителя, плотным с включением гальки (до 5%). Плотность частиц составляет $2,75 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 42° , под водой 33° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $2,0 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 43° , сцепление $0,002 \text{ МПа}$.

Слой 17 ($f, lgQ_{шос}$) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 8,5 м. Разрез представлен галечниковым (по лабораторным данным гравийным грунтом с супесчаным заполнителем) грунтом с

включениями гравия (5%), щебня (до 25%) и единичными валунами, заполнитель – песок мелкий до среднего, рыхлый. Плотность частиц составляет $2,76 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 42° , под водой 32° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $2,0 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление $0,002 \text{ МПа}$.

Слой 16 (f, lgQ_{шос}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 6,1 м. Разрез представлен песком гравелистым (по лабораторным данным с супесчаным заполнителем) рыхлым, влажным с включениями гальки (5%) и гравия (до 25%). Плотность частиц составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 41° , под водой 32° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $1,8 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 38° , сцепление 0.

Слой 15 (f, lgQ_{шос}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 1,0 м. Разрез представлен супесью влажной (по лабораторным данным суглинком легким, пылеватым, полутвердым), липкой с прослоями песка. Плотность частиц составляет $2,76 \text{ г/см}^3$, плотность $2,11 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 35° , сцепление $0,0425 \text{ МПа}$.

Слой 14 (lQ_{шлн}) представлен озерно-ледниковыми отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,3 м. Разрез представлен суглинком твердым до тугопластичного (по лабораторным данным суглинком легким, пылеватым, тугопластичным), с прослоями песка средней крупности и включениями гравия (10%) и гальки (5%). Плотность частиц составляет $2,72 \text{ г/см}^3$, плотность $2,16 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – $11^\circ 20'$, сцепление $0,14 \text{ МПа}$.

Слой 13 (lQ_{шлн}) представлен озерно-ледниковыми отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 1,0 м. Разрез представлен супесью серой пластичной. Слой не опробован, поэтому свойства даны по аналогии: плотность $2,11 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 35° , сцепление $0,0425 \text{ МПа}$.

Слой 12 (lQ_{шлн}) представлен озерно-ледниковыми отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 6,0 м. Разрез представлен глиной серо-зеленой, плотной тугопластичной (по лабораторным данным суглинком легким, пылеватым, твердым), с прослоями песка средней крупности и включениями гравия (10%) и валунов. Плотность частиц составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, плотность $1,95 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 27° , сцепление $0,05 \text{ МПа}$.

Слой 11 (lQ_{шлн}) представлен озерно-ледниковыми отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 1,0 м. Разрез представлен супесью серой пластичной.

Слой не опробован, поэтому свойства даны по аналогии: плотность $2,11 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -35° , сцепление $0,0425 \text{ МПа}$.

Слой 10 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,6 м. Разрез представлен песком гравелистым (по лабораторным данным с супесчаным заполнителем) рыхлым, водонасыщенным, с включениями дресвы. Плотность частиц составляет $2,71\text{--}2,75 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии $41\text{--}42^\circ$, под водой 31° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $1,8 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -38° , сцепление 0.

Слой 9 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,0 м. Разрез представлен валунным грунтом с глинистым заполнителем (пластичной). Свойства приняты по аналогии: плотность $2,26 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -27° , сцепление $0,05 \text{ МПа}$.

Слой 8 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,7 м. Разрез представлен песком зеленовато-серым, средней крупности, рыхлым, влажным, с гравием (10%) и галькой (5%). Свойства даны по аналогии: плотность $1,7 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -35° , сцепление 0.

Слой 7 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 1,5 м. Разрез представлен глиной (по лабораторным данным суглинком тяжелым, пылеватым) коричневой, плотной, пластичной с плавунном. Плотность частиц составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, плотность $2,01 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения $-37^\circ 50'$, сцепление $0,019 \text{ МПа}$.

Слой 6 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,1 м. Разрез представлен песком серым, мелким, с включением галькой до 10%. Свойства даны по аналогии: плотность $1,86 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -35° , сцепление 0.

Слой 5 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,2 м. Разрез представлен щебенистым грунтом (по лабораторным данным песком гравелистым с супесчаным заполнителем) с включениями крупных валунов, заполнитель песок мелким. Плотность частиц составляет $2,84 \text{ г/см}^3$, угол естественного откоса в сухом состоянии 41° , под водой 32° , остальные свойства приняты по аналогии: плотность $1,8 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения -38° , сцепление 0.

Слой 4 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 4,3 м. Разрез представлен глиной (по лабораторным данным суглинком легким, пылеватым) темно-серой, ленточной, мягкопластичной с

гравием и валунами до 5%, с прослоями суглинка и супеси. Плотность $2,0 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 23° , сцепление $0,083 \text{ МПа}$.

Слой 3 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,3 м. Разрез представлен дресвяно-галечниковым грунтом с обломками валунов и супесчаным заполнителем (по лабораторным данным с суглинистым заполнителем). Свойства приняты по аналогии: плотность $2,16 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 36° , сцепление $0,01 \text{ МПа}$.

Слой 2 (f, lgQ_{шрд}) представлен флювиогляциальными отложениями. Вскрытая мощность по скв. № 1 составляет 2,3 м. Разрез представлен суглинком (по лабораторным данным суглинком тяжелым, пылеватым, тугопластичным) темно-серым, пластичным с гнездами песка, гравием и валунами. Плотность $1,91 \text{ т/м}^3$, угол внутреннего трения – 29° , сцепление $0,0137 \text{ МПа}$.

Слой 1 представлен коренной полускальной породой – трещиноватыми биотитовыми гнейсами.

4.3. Оценка устойчивости восточного борта Коашвинского карьера

Оценка устойчивости борта карьера проводилась по линии разреза инженерно-геологических скважин № 1иг - № 4иг (Приложение №2), как по наиболее опасному направлению с точки зрения близости отвала к карьере на конец отработки месторождения. Инженерно-геологическое строение разреза, как было сказано выше, характеризуется 34 элементами, показатели которых, необходимые для расчета устойчивости, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Прочностные характеристики пород

№ слоя	P, т/м ³	C, т/м ²	φ, град
34	2.56	10.0	25
33	2.13	2.0	38
32	2.06	10.5	11.33
31	2.06	10.5	11.33
30	2.13	2.0	38
29	1.67	3.2	24
28	2.13	2.0	38
27	2.0	10.5	11.33
26	2.13	2.0	38
25	2.0	10.5	11.33
24	1.9	1	40
23	1,83	0,1	37
22	1,8	0,3	40
21	2.14	2.8	43
20	2.1	2,0	43
19	2.05	1.4	43
18	2,05	1.4	40,67
17	1.8	0	38
16	2.11	4.25	35
15	2.16	14.0	11.33
14	1.97	2.0	28
13	1.95	5.0	27
12	1.8	0.3	40
11	1.9	2.5	21

10	2,05	1,9	36
9	2,13	1,0	37
8	2,09	1,0	37
7	2.01	1.9	37.83
6	2,05	1,0	37
5	1.8	0	38
4	2.00	8.3	23
3	2.16	1.0	36
2	1.91	1.37	29

Поверхность скольжения была выбрана в соответствии с горно-геологическими условиями месторождения.

Согласно разрезу (рис.19), в районе восточного борта карьера, коренные кристаллические породы перекрыты четвертичными отложениями. Соответственно поверхность скольжения будет проходить по контакту скальных и осадочных пород. Также особое внимание было уделено тому, что в основании борта карьера залегают флювиогляциальные отложения, представленные суглинком тяжелым пылеватым, местами переходящим в глину. На основании этого, в соответствии с «Правилами обеспечения устойчивости на угольных разрезах», была выбрана схема расчета относящаяся ко II группе методов (при наличии естественных поверхностей ослабления, влияющих на устойчивость бортов), а именно горизонтальный или пологозалегающий контакт (пластичный пропласток или слой), залегающий в основании борта. На рис.20 приведена разбивка основания отвала на расчетные блоки и потенциальная поверхность скольжения.

Оценку устойчивости борта решено было выполнять методом алгебраического сложения сил, основанным на алгебраическом сложении удерживающих и сдвигающих сил по потенциальной поверхности скольжения.

Метод алгебраического сложения сил применяется при оценке устойчивости откосов в слабых водонасыщенных горных породах глинистого и песчано-глинистого состава, когда в условиях всестороннего сжатия при определенных величинах напряжений прочностные характеристики данных разностей не могут быть представлены постоянными величинами ϕ и C .

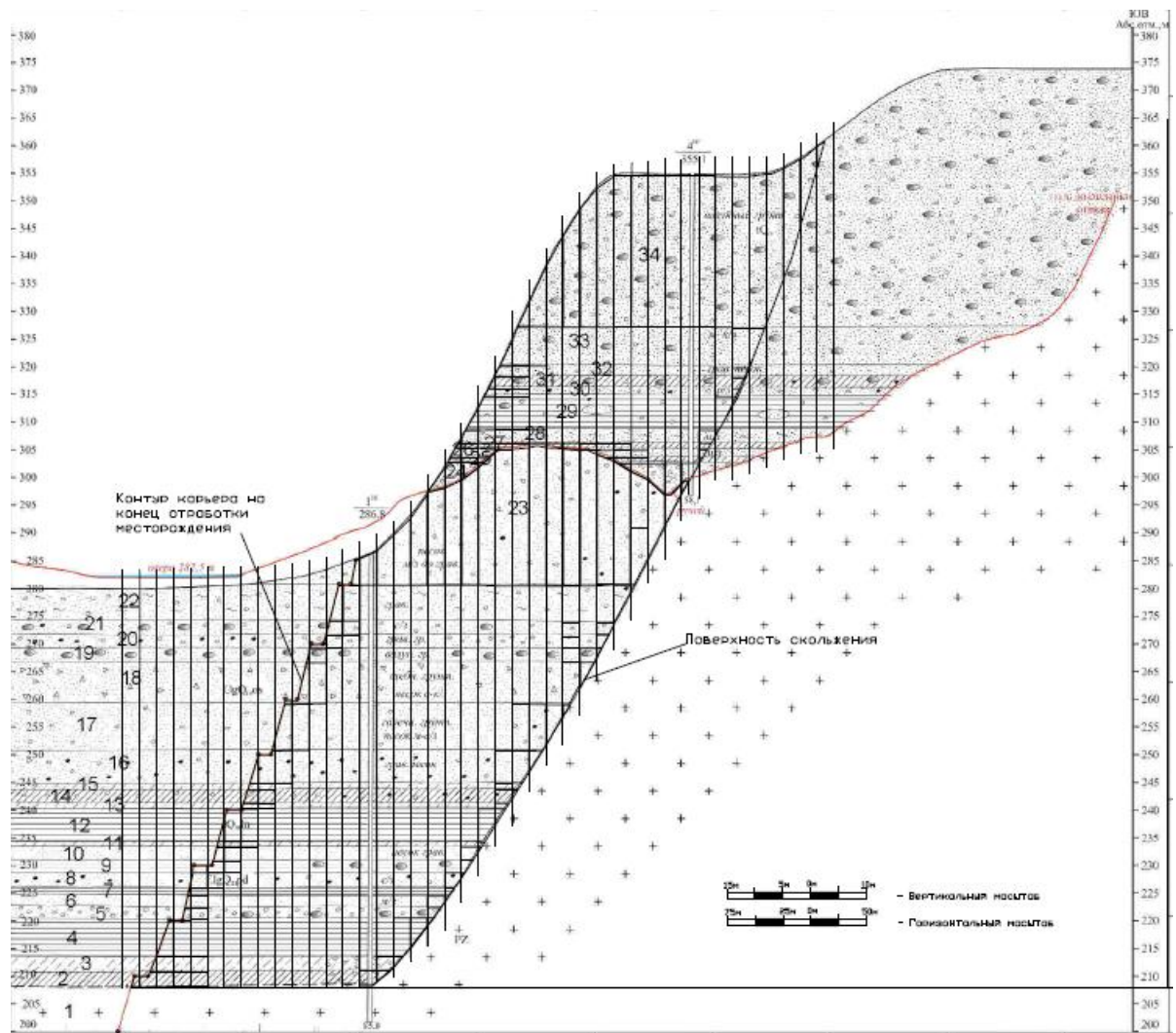


Рис.20 Разбивка откоса на расчетные блоки и потенциальная поверхность скольжения.

Коэффициент запаса устойчивости откоса – n – определяется по формуле:

$$n = \frac{\sum_i [(N_i - D_i) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i \ell_i]}{\sum_i (T_i + Q_c)}$$

где N_i и T_i соответственно нормальная и касательная составляющие (относительно поверхности скольжения) веса расчетного блока,

D_i – сила гидростатического давления в блоке,

φ_i и C_i – расчетные характеристики прочности пород,

Q_c – сила сейсмического воздействия.

Для определения коэффициента устойчивости выделенный при расчете отсек, ограниченный кривой скольжения, был разделен вертикальными сечениями на 42 блока, одинаковых по ширине. Границы блоков назначались в местах перелома линии откоса, в местах пересечения границ различных слоев откоса с поверхностью

скольжения и т.п. Ширина блоков принималась равной 15 м в целях уменьшения погрешности исчисления площади.

Далее определялись силы, действующие на каждый блок (табл.5):

1) сила P , приложенная в центре тяжести блока, равная собственному весу блока. Для каждого отдельного блока, на которые разбита призма возможного обрушения, вес вычислялся с учетом того, что блок представляет собой многослойную толщу грунтов, с различными показателями объемного веса.

2) реакция грунта на поверхность скольжения, которая состоит из силы трения ($N \cdot \operatorname{tg} \varphi$), прямо пропорциональной нормальному давлению, и силы сцепления ($c \cdot l$),

где $N = P \cdot \cos \alpha$ - нормальная составляющая веса блока P ;

φ - угол внутреннего трения грунта, град;

c - удельное сцепление грунта, т/м²;

l - длина отрезка дуги скольжения в пределах данного блока, м;

α - угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту;

3) сдвигающая силу $T = P \cdot \sin \alpha$, с учетом сейсмического воздействия Q_c на откос.

$$Q_c = \mu P.$$

где P - вес одного из блоков, на которые разбивается призма возможного обрушения;

μ - коэффициент динамической сейсмичности.

Коэффициент динамической сейсмичности согласно «Рекомендациям по выбору метода расчета устойчивости склона» определяется по таблице 6 в зависимости от сейсмической балльности района.

Таблица 6

Коэффициент динамической сейсмичности μ

Сейсмическая балльность района	1 - 6	7	8	9	10	11	12
μ	0,00	0,025	0,050	0,10	0,25	0,50	> 0,75

Используя карту сейсмического районирования Российской Федерации (рис.21), составленную «Институтом Физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН», была определена сейсмическая балльность района проведения работ, которая составляет 8 в баллах по шкале MSK-64. Соответственно коэффициент динамической сейсмичности, используемый в расчетах, равен 0,050.

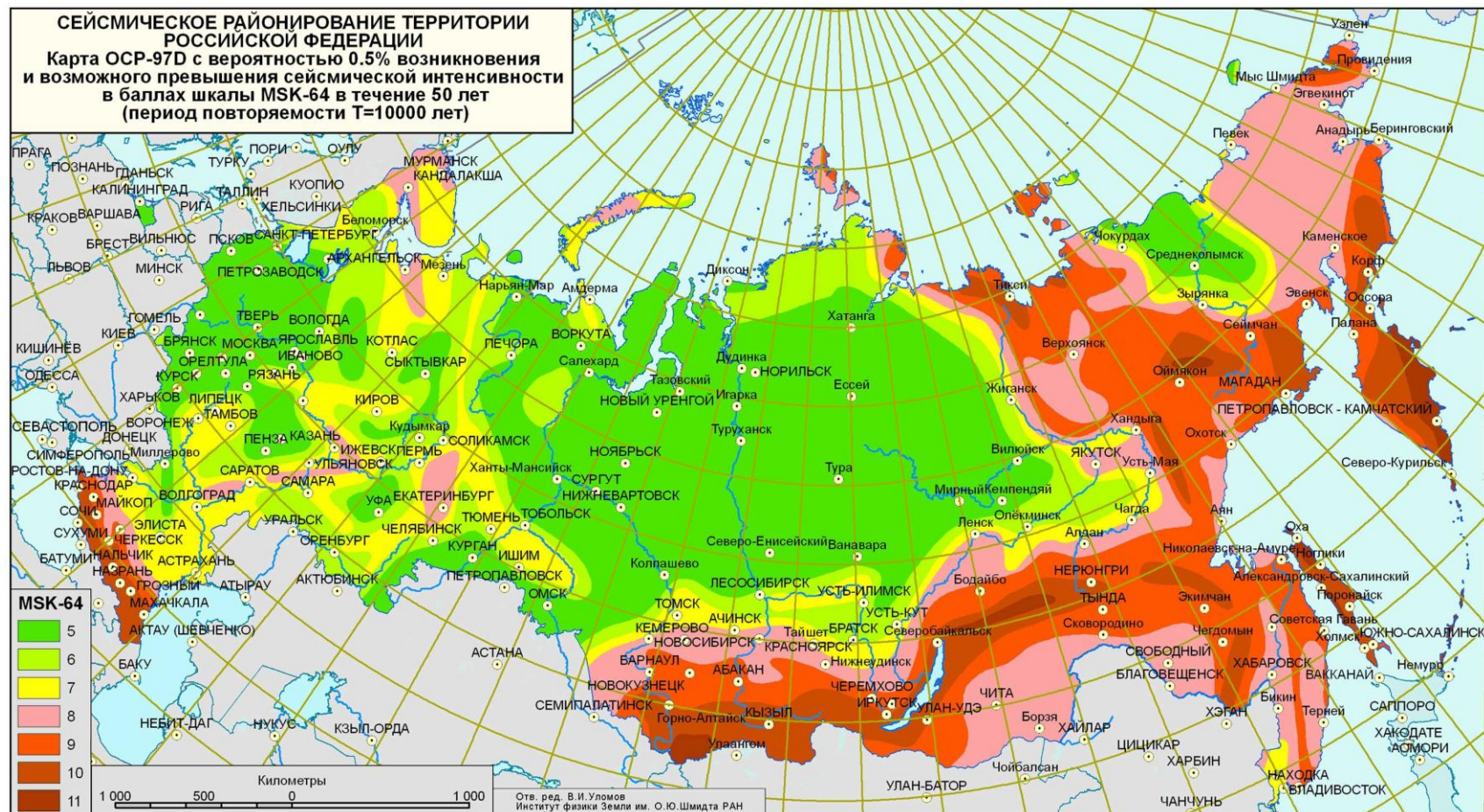


Рис. 21. Карта сейсмического районирования Российской Федерации («Институтом Физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН»)

Таблица 5. Значения сил, действующих на расчетные блоки.

№ блока	P, т.	$\alpha, ^\circ$	tg φ	l, м	N	T	Cl
1	21,8	0	0,532	7,65	21,7885	1,09	10,48
2	81,9	0	0,532	15,28	81,8967	4,09	20,93
3	291,5	0	0,532	15,28	291,519	14,58	20,93
4	414,2	0	0,532	15,28	414,227	20,71	20,93
5	621,0	0	0,532	15,28	620,964	31,05	20,93
6	763,3	0	0,532	15,28	763,339	38,17	20,93
7	958,4	0	0,532	15,28	958,405	47,92	20,93
8	1112,4	0	0,532	15,28	1112,35	55,62	20,93
9	1285,9	0	0,532	15,28	1285,91	64,30	20,93
10	1417,9	0	0,532	15,28	1417,88	70,89	20,93
11	1645,7	0	0,532	15,28	1645,71	82,29	20,93
12	1869,4	0	0,532	15,28	1869,42	93,47	20,93
13	2087,5	0	0,532	15,28	2087,47	104,37	20,93
14	2231,7	0	0,532	15,28	2231,72	111,59	20,93
15	2337,4	3,3	0,532	15,31	2333,5	252,54	20,97
16	2337,4	9,8	0,532	15,51	2303,31	514,61	21,24
17	2328,5	12,9	0,566	15,67	2269,47	637,52	31,35
18	2314,8	14,7	0,424	15,79	2239,4	701,73	131,06
19	2313,1	15,9	0,754	15,89	2224,11	750,99	15,89
20	2327,4	15,9	0,754	15,89	2237,89	755,64	23,84
21	2351,2	17,0	0,727	15,98	2249,04	803,14	23,17
22	2355,2	17,4	0,839	16,02	2246,93	823,70	4,80
23	2411,9	17,4	0,577	16,01	2301,82	841,34	41,63
24	2488,3	17,4	0,364	16,01	2374,63	867,99	112,08
25	2590,7	17,5	0,700	16,03	2470,15	910,69	68,13
26	2673,8	18,9	0,781	16,16	2528,92	1001,88	0,00
27	2721,1	18,9	0,810	16,16	2573,67	1019,61	11,31
28	2744,6	19,3	0,885	16,19	2590,66	1043,61	22,67
29	2679,8	22,0	0,933	16,48	2485,19	1136,49	32,96
30	2546,3	20,7	0,839	16,33	2381,85	1027,53	4,90
31	2385,8	21,3	0,754	16,40	2222,24	987,45	1,64
32	2220,6	21,3	0,754	16,40	2068,4	919,09	1,64
33	2057,1	20,3	0,754	16,30	1928,78	817,97	1,63
34	1899,4	19,1	0,781	16,17	1795,2	715,31	1,62
35	1742,6	19,1	0,466	16,17	1647,02	656,26	97,02
36	1580,0	19,1	0,445	16,17	1493,37	595,04	169,79
37	1421,8	24,5	0,364	16,79	1293,73	660,72	134,32
38	1184,0	27,5	0,781	17,23	1049,88	606,64	34,46
39	916,0	27,5	0,466	17,23	812,248	469,33	172,32
40	647,3	32,0	0,466	18,01	549,057	375,16	180,14
41	313,2	34,6	0,466	18,57	257,667	193,70	185,73
42	34,2	35,4	0,466	8,07	27,8445	21,50	80,70

Полное осушение прибортового массива требует значительных затрат на строительство водопонижающих скважин. Поэтому с целью оценки влияния обводненности пород призмы обрушения на устойчивость бортов карьеров проведена серия расчетов устойчивости при различных вариантах положения депрессионной поверхности.

Расчеты устойчивости проводились по следующим вариантам (рис.22):

- 1) необводненный откос;
- 2) полностью обводненный откос;
- 3) 70%-ое обводнение откоса;
- 4) 80%-ое обводнение откоса

Для случая обводненного откоса необходимо знание положения уровней подземных вод на этом участке, отвечающее контуру карьера на конец отработки карьера. Были использованы данные численного моделирования фильтрационного поля, выполненные в МНЦ «Гидрогеоэкология» СПбГУ.

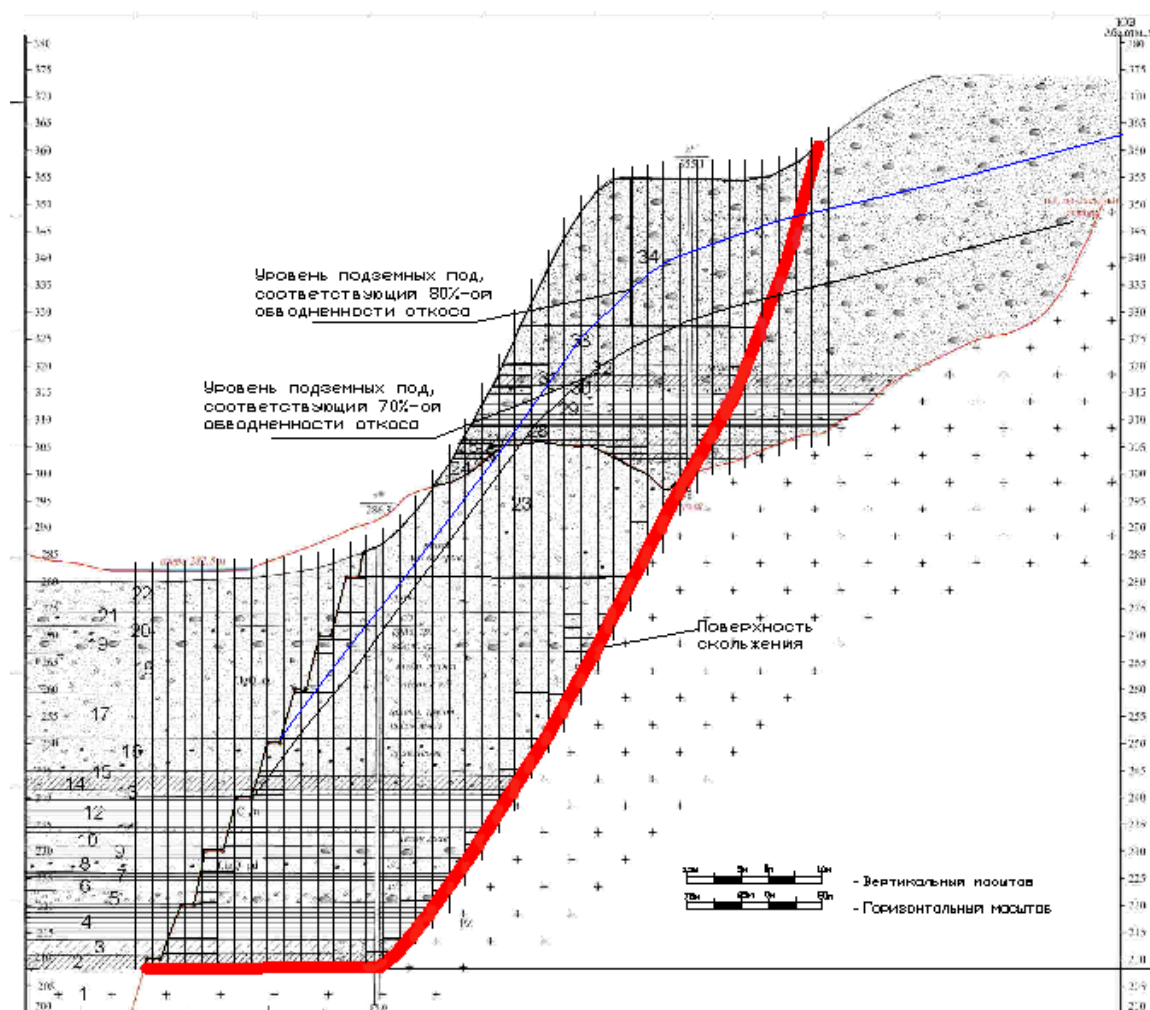


Рис.22. Положения уровней подземных вод.

Для определения влияния степени обводненности откоса на его устойчивость была рассчитана сила гидростатического давления D для каждого положения уровня подземных вод (табл.7).

D - сила гидростатического давления, направленная перпендикулярно основанию расчетного блока и численно равная произведению среднего значения гидростатического давления $\gamma_v H_{срi}$ на протяженность обводненного блока l_i'

$$D = \gamma_v H_{срi} l_i',$$

Таблица 7.

Значения гидростатического давления для различной степени обводненности призмы возможного обрушения.

№ блока	Полное обводнение		Частичное обводнение (80%)		Частичное обводнение (70%)	
	$H_{срi, м}$	D	$H_{срi, м}$	D	$H_{срi, м}$	D
1	1,8	11,4	1,8	11,4	1,8	11,4
2	3,6	55,5	3,6	55,5	3,6	55,4
3	8,7	132,3	8,7	132,3	8,7	132,2
4	15,2	232,4	15,2	232,4	15,3	232,8
5	20,2	307,7	20,2	307,7	20,2	308,2
6	26,0	396,4	26,0	396,4	24,4	372,3
7	31,0	472,4	31,0	472,4	29,2	445,6
8	36,7	560,4	36,7	559,9	33,5	510,5
9	43,2	658,8	42,6	650,1	37,5	572,5
10	48,1	733,0	45,5	694,1	41,5	633,1
11	55,5	846,2	49,5	754,5	45,3	691,5
12	61,4	936,2	53,5	816,7	49,0	747,7
13	67,8	1033,7	57,6	878,4	52,7	803,2
14	74,7	1139,1	61,5	938,3	56,5	861,3
15	77,5	1181,5	65,0	991,3	60,2	917,7
16	78,0	1189,3	67,2	1025,0	62,6	954,8
17	77,9	1187,7	68,1	1039,3	63,1	961,8
18	78,0	1189,4	68,5	1044,1	63,3	966,1
19	78,3	1194,3	68,3	1042,3	63,7	971,6
20	78,8	1201,5	68,0	1037,3	63,5	967,8
21	79,7	1215,8	67,5	1029,9	63,2	963,5
22	80,7	1231,4	66,8	1019,1	62,7	956,2
23	82,0	1251,1	66,2	1009,1	62,2	947,9
24	83,8	1278,4	65,6	1000,9	61,6	939,8
25	85,7	1307,9	65,1	992,4	60,5	922,8
26	86,7	1321,8	64,3	980,4	58,5	891,7
27	86,5	1319,8	63,3	965,3	56,1	855,6
28	85,6	1305,3	61,6	940,0	53,4	815,0
29	82,9	1263,9	59,0	900,0	49,9	760,8
30	78,0	1190,3	56,1	855,2	45,7	697,4
31	72,2	1100,7	53,0	808,5	41,4	631,4

32	66,2	1009,5	49,5	754,3	36,9	562,7
33	60,3	919,9	45,4	692,9	32,5	495,8
34	54,8	835,6	41,3	629,5	28,4	432,6
35	46,8	713,9	37,1	565,4	24,2	369,3
36	40,7	621,2	32,9	501,3	20,0	304,4
37	34,3	522,7	27,8	424,2	14,7	224,8
38	27,3	416,5	21,4	326,1	8,0	122,5
39	19,6	299,5	14,4	220,2	2,2	33,7
40	12,0	183,1	6,6	100,4	0,0	0,0
41	6,1	93,1	1,1	16,8	0,0	0,0
42	2,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Определив силу гидростатического давления, согласно методу алгебраического сложения сил, были рассчитаны значения коэффициента устойчивости при различной степени обводненности призмы возможного обрушения (табл.8).

Таблица 8.

Значения коэффициента устойчивости восточного борта Коашвинского карьера.

	Коэфф. устойчивости
В сухом состоянии	1,98
Полное обводнение	1,12
80% -е обводнение	1,33
70% - е обводнение	1,44

Коэффициент запаса устойчивости необводненного откоса карьера равен $n = 1.98$, что свидетельствует о его устойчивом состоянии в таких условиях.

Варианты расчета обводненного откоса показывают, что возможно нарушение устойчивости восточного борта карьера за счет сил гидростатического давления.

При полном обводнении призмы возможного обрушения коэффициент устойчивости равен $n = 1.1$. Это свидетельствует о нарушении устойчивости откоса (согласно «Правилам обеспечения устойчивости...», необходимый запас устойчивости для данных горно-геологических условий составляет 1,3).

Снижение обводненности откоса до 80% повышает запас устойчивости до 1,3, что соответствует критическому значению. И только при 70% обводненности мы имеем необходимый запас устойчивости, а именно – 1,4.

Выводы.

В результате проведения работ были выполнены все поставленные задачи.

Разрез четвертичных отложений Коашвинского карьера характеризуется высокой неоднородностью и изменчивостью. Установить пространственное положение отдельных литологических разностей сложно. Необходимо детальное инженерно-геологическое обследование уступов. Особый интерес представляет выявление зон сочленения коренных пород и четвертичных отложений, на контакте которых отмечаются глинистые прослои, по которым может произойти смещение.

Для расчетов использовались имеющиеся на настоящий момент времени показатели физико-механических свойств. Следует признать, что достоверные значения расчетных показателей физико-механических свойств пород четвертичных отложений возможно получить только обратными расчетами или полевыми методами.

Расчеты коэффициента устойчивости выполнены для обводненного и необводненного бортов, и показывают, что для выбранной поверхности скольжения, откос в сухом состоянии сохраняет устойчивость в течение длительного времени. При обводнении уступы борта сохраняют устойчивость лишь при определенном уровне подземных вод.

Необходимый запас коэффициента устойчивости (1,4) получается при 70% обводненности восточного борта карьера. При данном уровне подземных вод отработка карьера является безопасной и экономически выгодной.

Должна быть запланированная система водопонижения (скважины ВП) на конец отработки карьера, которая даст необходимые срезки уровней подземных вод в этой части восточного борта карьера для обеспечения устойчивости борта.

Толчком к формированию оползня является совместное действие гидростатических и гидродинамических сил подземных вод.

Интенсивная разгрузка подземных вод сопровождается уменьшением прочностных свойств четвертичных пород, что также приводит к снижению устойчивости уступов карьера

Необходима организация строгого контроля за обводненностью борта на этом участке карьера.

Список литературы

1. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ, 2011.
2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2013.
3. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1970, 153 с.
4. Лягина О.В. Обеспечение устойчивости карьерных откосов в глинистых породах: диссертация кандидата технических наук. Караганда, 1984, 213 с.
5. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИМИ, 1972, 163 с.
6. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов. Л.: ВНИМИ, 1987, 126 с.
7. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. М.: Недра, 1989, 289 с.
8. Попов И. И., Шпаков П. С., Поклад Г. Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука, 1987, 224 с.
9. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. СПб: ВНИМИ, 1999, 208 с.
10. Предложения по расчету устойчивости откосов высоких насыпей и глубоких выемок. М.: Государственный всесоюзный дорожный НИИ СоюздорНИИ, 1966, 71 с.
11. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. М.: ЦНТИ, 1986, 134 с.
12. Технологический регламент формирования устойчивых породных отвалов ОАО «АПАТИТ» в сложных гляциоклиматических и орографических условиях Хибинского горного массива. Р-4798.00.ПЗ. 1979.
13. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Недра, Москва. 1965 – 380 с.

Фондовая литература

14. Отчет ОАО «ГИПРОРУДА» по договору № 3001-146. том 1. (Фондовые материалы ОАО «МГРЭ»).
15. Отчет по НИР «Оценка и прогноз устойчивости откосов Коашвинского карьера с применением математического моделирования» (промежуточный). х/д № 17-00. СПб, 2001. (Фондовые материалы ОАО «МГРЭ»).

Результаты лабораторного определения гранулометрического состава и физических свойств пород

№№ п.п.	№ слоя	Отметка взятия образца, м		Гранулометрический состав														Пределы пластичности				Плотность грунта, г/см³	Влажность при определении плотности	Плотность сухого грунта, г/см³	Плотность частиц грунта, г/см³	Пористость, %	Коэффициент пористости	Угол естественног о откоса, град.		Наименование грунта по лабораторному определению
		от	до	80 - 40	40 - 20	20 – 10	10 – 5	5 – 2	2 - 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05-0,01	0,01–0,005	0,005-0,002	<0,002	текучести	пластичности	Число пластичности								В сухом состоянии	Под водой	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
3/1	23	280,0							сл	сл	0,1	0,2	27,7	65,9	4,7	1,4		0,912	0,671	0,241	0,01	2,15	0,67	1,29	2,61	1,02	1,02			Глина легкая пылеватая полутвердая
3/2	23	278,0	278,5	38,0	4,2	2,5	4,3	4,3	5,0	4,8	6,4	5,9	13,5	5,9	3,3	1,0	1,0	0,189	0,168	0,021	<0	1,86	0,09	1,71	2,73	0,37	0,596			Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
3/3	23	275,0	275,5	42,0	3,2	1,9	2,7	4,8	4,0	4,8	6,4	5,9	14,1	5,9	2,3	1,0	1,0	0,191	0,169	0,022	<0	1,84	0,09	1,69	2,73	0,38	0,615			Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
5/1	22	273,5	274,0	20,4	1,7	2,9	2,5	0,8	1,1	2,5	4,7	6,7	25,4	18,6	4,9	4,4	3,4	0,176	0,144	0,032	<0	1,83	0,10	1,66	2,76	0,40	0,663	41	32	Песок гравелистый, зап. -супесь пылеватая
5/2	22	273,0	273,5	9,3	11,8	4,6	5,6	4,8	4,5	6,1	8,1	5,4	22,0	10,7	2,2	2,1	2,8	0,135	0,115	0,020	<0	1,83	0,11	1,65	2,74	0,40	0,661	41	32	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
5/3	22	272,5	273,0	7,3	12,5	4,7	5,5	5,0	4,7	6,2	8,4	6,4	21,3	10,6	2,3	2,2	2,9	0,135	0,115	0,020	<0	1,82	0,11	1,64	2,74	0,40	0,671	41	32	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
6/1	20	268,0	268,5	17,0	6,5	10,9	12,0	3,1	3,0	4,4	6,5	4,8	16,6	7,1	2,1	2,2	3,2	0,174	0,134	0,040	<0	2,13	0,13	1,88	2,74	0,31	0,457			Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
6/2	20	167,5	268,0	14,3	7,2	10,0	10,6	3,4	3,2	4,8	7,2	4,9	18,1	7,9	2,4	2,4	3,6	0,174	0,130	0,044	<0	2,14	0,12	1,91	2,74	0,30	0,435			Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
6/3	20	267,0	267,5	12,0	7,9	9,2	9,2	3,7	3,4	5,2	7,9	5,0	18,4	8,7	2,8	2,6	4,0	0,171	0,125	0,046	<0	2,15	0,12	1,92	2,74	0,30	0,427			Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
7/1	19	263,0	263,5	40,7			6,8	4,3	3,2	8,6	13,5	5,2	17,7									2,14	0,12	1,91	2,79	0,32	0,461	41	35	Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
7/2	19	262,0	262,8	14,8			15,5	30,6	11,2	11,2	11,0	2,0	4,7									2,07	0,12	1,85	2,79	0,32	0,461	44	34	Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
7/3	19	263,0	263,5	25,1			10,5	17,6	7,2	7,2	12,0	4,0	16,4									2,09	0,12	1,87	2,79	0,33	0,492	42	34	Гравийный грунт, зап.-супесь пылеватая
8/1	18	251,0	251,5	8,0	8,5	8,6	8,0	4,3	3,8	5,8	8,9	5,1	20,4	8,7	3,2	2,7	4,0	0,171	0,125	0,046	<0	2,08	0,12	1,86	2,75	0,32	0,478			Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
8/2	18	252,0	252,5		9,1	9,2	4,5	5,2	5,1	26,7	20,9	13,0	6,3					0,182	0,130	0,052	<0	2,00	0,12	1,79	2,75	0,33	0,486	40	30	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
8/3	18	253,0	253,5	7,7	8,0	9,0	6,2	5,7	2,5	6,5	14,8	12,1	14,4	6,7	3,0	2,4	1,0	0,171	0,125	0,046	<0	2,08	0,12	1,86	2,75	0,32	0,478	44	34	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
2/1	13	240,0	240,5							Сл.	0,6	5,6	48,0	34,3	3,7	7,8		0,181	0,146	0,035	<0	1,97	0,141	1,73	2,77	0,38	0,604			Супесь пылеватая
1/1	11	235,0	235,5				Сл.	Сл.	0,7	1,3	1,4	1,4	9,6	11,2	23,4	51,0		0,290	0,20	0,10	0,3	1,90	0,23	1,54	2,79	0,45	0,811			Суглинок легкий

9/1	10	231,0	231,5	23,3	8,4	4,8	5,6	4,2	3,3	3,3	4,1	4,6	12,0	10,9	4,5	4,0	7,0	0,313	0,193	0,120	<0	2,06	0,123	1,83	2,71	0,32	0,481	42	31	пылеватый Песок гравелистый , зап.-суглинок легкий пылеватый
9/2	10	232,0	232,5	13,9	8,1	6,2	5,5	5,2	3,1	5,7	10,9	8,0	13,0	8,0	4,0	3,4	5,0	0,232	0,170	0,062	<0	2,05	0,13	1,81	2,73	0,33	0,508	40	30	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
9/3	10	233,0	233,5	7,9	8,0	9,0	6,2	5,7	2,5	6,5	14,8	12,1	14,4	6,5	3,0	2,4	1,0	0,171	0,125	0,046	<0	2,05	0,13	1,81	2,75	0,34	0,519	44	34	Песок гравелистый, зап.- супесь пылеватая
10/1	9	229,0	229,2	22,5	8,4	4,8	5,6	4,2	3,3	3,3	4,1	4,6	12,0	10,7	4,5	4,7	7,3	0,313	0,193	0,120	<0	2,13	0,18	1,81	2,72	0,33	0,503			Песок гравелистый , зап.-суглинок легкий пылеватый
10/2	9	229,2	229,5	-	-		1,1	2,0	3,6	6,6	10,0	5,2	18,5	20,0	10,0	11,0	12,0	0,317	0,198	0,119	<0	1,97	0,141	1,73	2,74	0,37	0,584			Суглинок тяжелый пылеватый
10/3	9	229,5	229,7	-	-			сл	0,7	1,3	1,3	1,4	9,6	11,2	23,4	51,1		0,292	0,199	0,093	0,34	1,90	0,231	1,54	2,79	0,45	0,808			Суглинок тяжелый пылеватый
11/1	8	227,0	227,2	11,9	6,6	1,2	13,1	4,3	3,1	12,8	10,3	8,3	9,5	9,4	5,2	4,3						2,10	0,176	1,79	2,72	0,34	0,520	41	31	Песок гравелистый , зап.-супесь пылеватая
11/2	8	227,6	228,0	14,1	7,1	4,5	8,6	7,6	5,9	5,0	4,8	2,8	20,2	7,6	2,8	3,8	5,2					2,08	0,166	1,78	2,72	0,34	0,528			Песок гравелистый , зап.-супесь пылеватая
11/3	8	228,0	228,2	5,0	6,6	1,2	13,1	4,3	3,1	3,8	5,1	3,3	20,5	12,4	4,2	4,3	7,1					2,08	0,170	1,78	2,72	0,34	0,528			Песок гравелистый , зап.-супесь пылеватая
11/1	6	224,0	224,2	10,5	10,1	10,6	8,4	6,7	5,1	4,5	5,6	3,6	21,5	6,8	2,1	1,7	2,8					2,02	0,13	1,79	2,74	0,35	0,531	41	32	Песок гравелистый , зап.-супесь пылеватая
11/2	6	223,8	224,0			1,9	4,7	4,5	3,1	4,6	6,5	6,1	29,3	18,2	6,1	6,8	8,2					2,04	0,13	1,81	2,79	0,35	0,541			Суглинок легкий пылеватый
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
11/3	6	223,5	223,8	7,8	8,7	8,6	7,8	4,1	3,7	5,7	8,6	5,1	20,2	9,6	3,1	2,7	4,3					2,03	0,13	1,80	2,79	0,35	0,550	42	33	Песок гравелистый , зап.-супесь пылеватая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
198	4-12	53,1	54,1		14,8	17,8	9,1	6,5	5,5	5,1	5,0	3,1	19,3	7,3	2,3	2,0	2,2	0,163	0,140	0,024					2,80					Гравийный грунт, зап.-супесь пелеватая
199	4-26A	54,6																					0,217							
Вост.борт. 200		210,0	215,0										9,2	69,2	9,2	5,4	6,6	0,377	0,258	0,119	0,28	1,91	0,291	1,48	2,71	43,59	0,831			Суглинок тяжелый, пылеватый, тугопластичий

Примечание: **20,2** – содержание фракций размером более 80 мм

Геолого-технический разрез скважины 1иг.

Начало бурения: 27 апреля 2014 г.

Окончание бурения: 02 июня 2014 г.

Глубина скважины – 85,0 м

Абс. отм. устья – 286,8 м

Масштаб	Выход керна	Геологическая колонка	Глубина до подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание пород	Опробование			
						Гран. состав № пробы интервал, м	Влажность № пробы глубина, м	Монолиты № пробы интервал, м	
2–			5,0	5,0	Песок р/з (от м/з до гравелист.) от зеленого до серого цвета, слабоупл., с гл. 3,0м–рыхлый с вкл. дресвы, щебня до10% и гальки до 30%	<u>3</u> 5,9-8,7	<u>1</u> ^А 12,2 <u>2</u> ^А 13,4 <u>3</u> ^А 14,4 <u>4</u> ^А 15,3 <u>5</u> ^А 16,2 <u>6</u> ^А 17,0 <u>7</u> ^А 18,9 <u>8</u> ^А 19,4 <u>9</u> ^А 20,6 <u>10</u> ^А 23,0 <u>11</u> ^А 23,95 <u>12</u> ^А 25,0 <u>13</u> ^А 25,8	<u>1</u> ^Б 14,1-14,35	
4–									
6–									
8–			11,6	2,2	На гл. 5,0–5,9м – песок м/з, рыхлый, с щебнем до 5%, далее – песок гравелистый, зеленовато–серый, рыхлый, пылеватый, с крупной, слабоокатанной галькой до 40%	<u>5</u> 13,4-15,2 <u>6</u> 15,2-17,4			
10–									
12–									
14–			16,5	2,3	Песок серый, с/з, плотный, влажный с дресвой 10%, галькой 35% и валунами	<u>9</u> 20,8-25,8			
16–					Гравийный грунт, заполн. песок с/з, влажный, дресва 5% и гравий 50%				
18–					Валунный грунт, заполн. песок с/з, влажный, дресва 5% и гравий 5–10%				
20–			26,5	7,7	Щебнистый грунт, заполнитель песок с–к/з, влажный, плотный, с включением гальки до 5%.	<u>11</u> 29,3-32,4 <u>12</u> 32,4-33,4			
22–									
24–									
26–			35,0	8,5	Галечниковый грунт, заполнитель песок м–с/з, влажный, рыхлый, с включением гравия 5%, щебня 25% с единичными валунами; в интервале 32,4–33,4м песок гравелистый, рыхлый, с галькой 5% и гравием 15%	<u>14</u> 35,0-38,0			
28–									
30–									
32–			41,1	6,1	Песок гравелистый, рыхлый, влажный, с включением гальки 5% и гравия 20%	<u>17</u> 52,6-55,2			
34–									
36–									
38–			42,1	1,0	Супесь с просл. песка к/з, влаж. липкая	<u>19</u> 59,9-61,4 <u>20</u> 61,4-64,7			
40–									
42–									
44–			44,4	2,3	Суглинок тв., тугопласт., сух., просл. песка с/з, вкл. гравия 10%, гальки 5%	<u>21</u> 68,2-70,8			
46–									
48–									
50–			48,0	1,6	Супесь серая, тугопластичная, влажная	<u>22</u> 73,5-75,0 <u>23</u> 75,0-77,3			
52–					Дресв.–галеч. грунт зап. глина, водонас				
54–					Глина водонасыщенная до пльвуна				
56–			48,6	0,6	Песок с/з с галькой 10% и валунами	<u>23</u> 75,0-77,3			
58–									
60–									
62–			52,6	4,0	Глина серо–зеленая, влажная, плотная, слабопластичная, с гл. 50,3м – твердая, сухая; в инт. 51,9–52,2 – суглинок полутвердый с гнездами песка	<u>24</u> 77,3			
64–									
66–									
68–			55,2	2,6	Песок гравелистый с вкл. дресвяного грунта 5–15см, рыхлый, водонасыщ.	<u>25</u> 77,3			
70–									
72–									
74–			57,2	2,0	Валунный грунт заполнитель глина пластичная	<u>26</u> 77,3			
76–									
78–									
80–			59,9	2,7	Песок зеленовато–серый, с/з, рыхлый, влажный, с гравием 10% и галькой 5%	<u>27</u> 77,3			
82–									
84–									
86–			61,4	1,5	Глина коричневая, тугопластич., плотн.	<u>28</u> 77,3			
88–									
90–									
92–			63,5	2,1	Песок серый, м/з, с включением гальки до 10%	<u>29</u> 77,3			
94–									
96–									
98–			64,7	1,2	Щебнистый грунт, запол. песок м/з,	<u>30</u> 77,3			
100–									
102–									
104–			65,7	1,0	Валун	<u>31</u> 77,3			
106–									
108–									
110–			67,5	1,8	Глина корич, плот, пластич с пльвун.	<u>32</u> 77,3			
112–									
114–									
116–			71,8	4,3	Глина темно–серая, ленточная, мягкопластичная, влажная с гравием и валунами до 5%, с прослоями суглинка (67,5–68,7м) и супеси (70,2–70,4м)	<u>33</u> 77,3			
118–									
120–									
122–			72,5	0,7	нет керна	<u>34</u> 77,3			
124–									
126–									
128–			75,0	2,5	Дресвяно–галечный грунт влажный, с обломками валунов, заполнит. супесь	<u>35</u> 77,3			
130–									
132–									
134–			77,3	2,3	Суглинок темно–серый, пластичный, влажный с гнезд. песка грав. и валун	<u>36</u> 77,3			
136–									
138–									
140–					Биотитовый гнейс трещиноватый, на глубине 84,8–85,0м сильно трещиноватый.				
142–									
144–									
146–			85,0	7,7					
148–									
150–									

Геолого-технический разрез скважины 4иг.

Начало бурения: 16 сентября 2014 г.

Окончание бурения: 28 октября 2014 г.

Глубина скважины – 58,10 м

Абс. отм. устья – 357,06 м

Масштаб	Выход керна	Геологическая колонка	Глубина до подпошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Описание пород	Опробование			
						Гран. состав № пробы интервал, м	Влажность № пробы глубина, м	Монолиты № пробы интервал, м	
2– 4– 6– 8– 10– 12– 14– 16– 18– 20– 22– 24– 26– 28– 30–			9,0	9,0	Валунный грунт, обломки, заполнитель песок р/з, коричневый 15-20%	1 0,0-4,0			
32– 34– 36– 38– 40– 42– 44– 46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			27,8	18,8	Валунный грунт без заполнителя				
32– 34– 36– 38– 40– 42– 44– 46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			34,5	6,7	Песок р/з (м-к/з) коричневый, с единичными обломками валунов, в интервале 28,8-29,4 м прослой супеси	3 27,8-30,7 4 30,7-32,3	1 ^А 28,3 2 ^А 29,3 3 ^А 30,2 4 ^А 32,1 5 ^А 33,1 6 ^А 34,0 7 ^А 35,3 8 ^А 37,0 9 ^А 38,0 10 ^А 39,2 11 ^А 39,8 12 ^А 40,4 13 ^А 41,0 14 ^А 41,6 15 ^А 43,1 16 ^А 43,9 17 ^А 45,3 18 ^А 46,3 19 ^А 47,3 20 ^А 48,0 21 ^А 49,0 22 ^А 50,7 23 ^А 51,2 24 ^А 52,1 25 ^А 53,7 26 ^А 54,6	1 ^В 30,7-31,3 2 ^В 31,3-32,0 3 ^В 32,0-32,8 4 ^В 40,8-41,4 5 ^В 48,8-49,0	
32– 34– 36– 38– 40– 42– 44– 46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			36,5	2,0	Песок гравелистый, влажный, с вкл. мелкого щебня и обл. валунов 25-30%	6 34,5-36,5			
40– 42– 44– 46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			40,5	4,0	Суглинок темно-коричневый мягкопластичный с вкл. обломков валунов до 40% и гальки до 15%, на гл. 38,3-40,0 м – песок р/з	7 36,5-39,0 8 39,0-40,8 9 40,8-43,6 10 43,6-45,8			
44– 46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			43,6	3,1	Глина темно-серая, мягкопластичная, с вкл. обломков валунов до 40% и гнездами с/з песка				
46– 48– 50– 52– 54– 56– 58–			44,3	0,7	Вал. грунт с глиной темно-коричневой				
48– 50– 52– 54– 56– 58–			45,8	1,5	Глина темно-корич. мягкопластичная				
50– 52– 54– 56– 58–			48,6	2,8	Песок св.-кор., м/з, пылев. с гравием 20% и галькой менее 10%, прослой плотной глины 46,1-46,5 и 47,5-47,6 м				
52– 54– 56– 58–			49,6	1,0	Суглинок с просл. песка и включ.				
54– 56– 58–			51,1	1,5	Песок м/з, серо-зеленый, с включ.	11 50,1-50,9			
56– 58–			52,1	1,0	Суглинок с просл. песка м/з и включ.				
58–			53,1	1,0	Галечниковый грунт с вкл. гравия и еденичных валунов, заполнитель песок р/з, гравелистый	12 53,1-54,1			
58–			55,5	2,0	Нефелиновые сиениты серые, с/з, трещиноватые				
58–			58,1	3,0					